

ALPS処理水の海洋放出に係る放出開始後1年間の 放射線環境影響評価（運用段階）の評価結果について

2024年12月 25日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

本報告書の評価は、海洋放出開始後1年間の運転実績に基づき行ったものであるが、今後各方面からの意見、IAEAの専門家によるレビューなどにより見直す場合がある。

経緯および概要

- ALPS処理水の海洋放出については、政府方針において法令による規制基準等の遵守はもとより、関係する国際法や国際慣行に基づくとともに、さらなる取り組みにより放出する水が安全な水であることを確実にして、公衆や周辺環境、農林水産品の安全を確保することを国内外に表明している
- 政府方針を受け、当社はIAEAの安全基準文書類に基づく放射線環境影響評価を実施。2021年11月に放射線環境影響評価報告書（設計段階）を作成後、IAEAのレビューや原子力規制委員会の審査のコメント等を受けて改訂版を作成しており、2023年2月に建設段階・改訂版（以下、前回評価）を公表
- IAEAの安全基準文書では、施設の設計の進捗や施設の運用開始などにより必要に応じて放射線環境影響評価を実施することとなっている。2023年8月の海洋放出開始により運用段階に入り、今年8月で1年を経過したことから、昨年8月の放出開始から今年8月までの1年間について、放射線環境影響評価を実施
- **評価結果は、前回評価と同程度の極めて低いレベルであり、線量評価値が一般公衆の線量限度や線量拘束値^{*1}、国際機関が提唱する生物種ごとに定められた値を大幅に下回る、との結論は変わらない**
 - 人に対する線量評価値は、一般公衆の線量限度1ミリシーベルト/年の約5万分の1
 - 環境に対する線量評価値は、ICRPの基準（誘導考慮参考レベル）の約100万分の1以下

*1 線量拘束値：線量限度に到達する前に、ある放射線作業または施設に責任を持つ者が、防護の安全の最適化のために定める数値。福島第一原子力発電所では、2022年2月16日に原子力規制委員会より、原子力発電所の線量目標値（年間0.05ミリシーベルト）はIAEA安全基準における線量拘束値に相当するとの見解が示された。

1. **主な変更内容**
2. 評価の方法
3. 評価の結果
4. 参考

前回評価からの変更点

- 拡散シミュレーションモデル等、評価方法は前回評価と同じ
- 放出実績に基づき、8回の放出ごとに評価した結果から、年間の評価を実施
- 評価対象核種にかドミウム-113mを追加

項目	前回評価	今回（放出開始後1年間の評価）
評価期間	1年間（2019年の気象データを使用）	2023年8月24日～2024年8月25日（368日）
放出方法	年間を通じて均等放出	実績に基づき8回に分けて放出
ソースターム	<ul style="list-style-type: none"> ・3種類のソースターム ・評価対象はトリチウム含む30核種 	<ul style="list-style-type: none"> ・放出毎にソースタームを設定 ・左記にかドミウム-113mを追加した31核種
海洋拡散シミュレーション	領域海洋モデルを福島沖に適用したモデル	変更無し
被ばく経路（外部被ばく）	<ul style="list-style-type: none"> ・人の被ばく：海面、船体、海水、海浜砂、漁網 ・環境防護：海水、海底土 	変更無し
被ばく経路（内部被ばく）	<ul style="list-style-type: none"> ・人の被ばく：飲水、しぶきの吸入、海産物摂取 ・環境防護：海水の取り込み 	変更無し
評価	<ul style="list-style-type: none"> ・人の被ばく 線量拘束値、線量限度と比較 ・環境防護 誘導考慮参考レベルと比較 	左記に加えて、前回評価結果および海域モニタリング結果と比較

1. 評価の変更内容
- 2. 評価の方法**
3. 評価の結果
4. 参考

放射線環境影響評価の手順

国際原子力機関（IAEA）の安全基準文書^{*1}にしたがい、以下の手順で評価しました。

人に対する評価

環境防護（人以外の生物）に関する評価

ソースタームの選択

- 処理水の海洋放出により放出される放射性物質の種類と量を定義

ソースタームの選択

- 処理水の海洋放出により放出される放射性物質の種類と量を定義

環境中での直接照射、
拡散・移動のモデリング

- 海洋に放出された各放射性物質がどのような経路で拡散・移動・蓄積するのかを検討

環境中での拡散・移動
のモデリング

- 海洋に放出された各放射性物質がどのような経路で拡散・移動・蓄積するのかを検討

被ばく経路の特定

- 環境中で拡散・移行した放射性物質から人がどのような経路で被ばくするのかを検討

被ばく経路の特定

- 環境中で拡散・移行した放射性物質から海生動植物がどのような経路で被ばくするのかを検討

代表的個人の選定

- 評価対象とする集団で上記被ばく経路から最も被ばくする人を定義

標準動物・植物の選定

- 評価対象とする種を選定（ICRP文書を基に扁平魚・カニ・褐藻類を選定）

代表的個人に対する
線量の評価

- 代表的個人が受ける線量を評価

標準動物および標準植
物への線量率の評価

- 標準動物および植物が受ける線量率を評価

推定線量と線量拘束値^{*2}
および線量限度との比較

- 線量拘束値（0.05ミリシーベルト/年）および一般公衆の線量限度（1ミリシーベルト/年）と比較し判定

推定線量率と誘導考慮
参考レベルとの比較

- 生物種ごとに定められた誘導考慮参考レベルと比較し判定

*1 IAEA GSG-9 “Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment”

IAEA GSG-10 “Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities”

*2 線量拘束値：線量限度に到達する前に、ある放射線作業または施設に責任を持つ者が、防護の安全の最適化のために定める数値。福島第一原子力発電所では、2022年2月16日に原子力規制委員会より、原子力発電所の線量目標値（年間0.05ミリシーベルト）はIAEA安全基準における線量拘束値に相当するとの見解が示された。

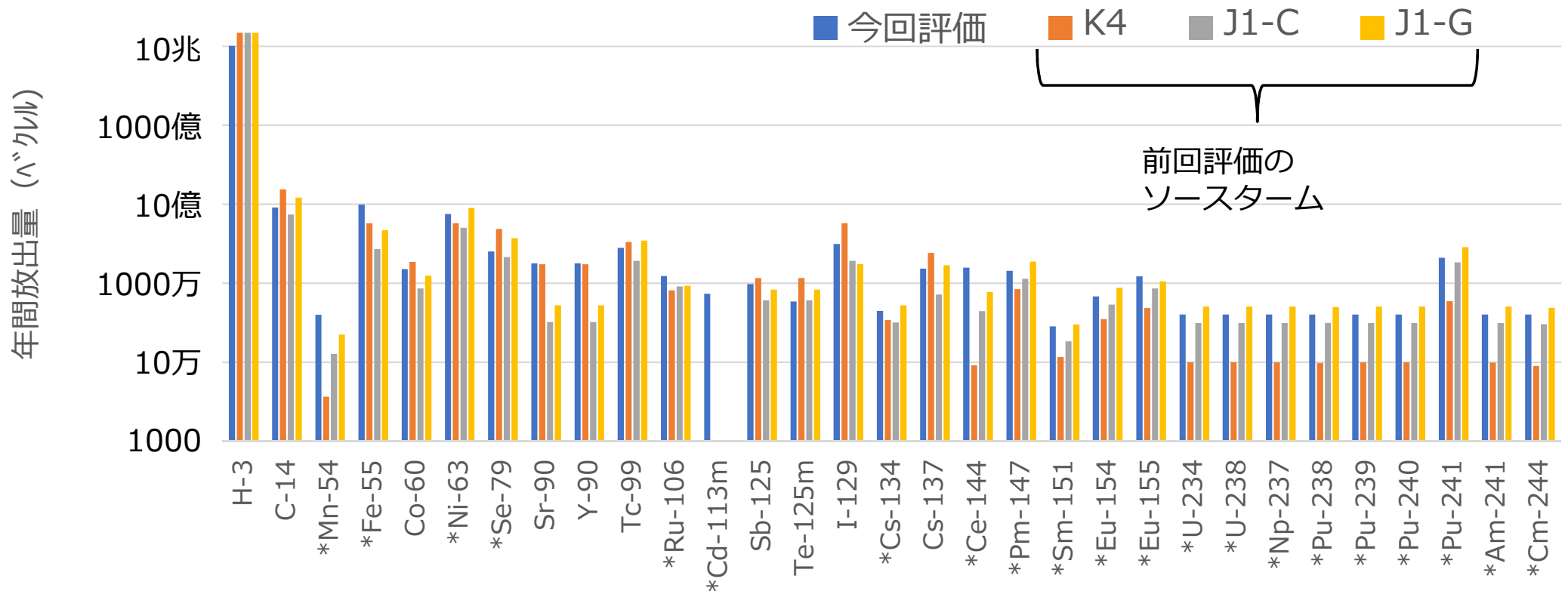
放出実績（トリチウム）

- 第1回の放出を、2023年8月24日より開始。2024年8月25日までの約1年間に、合計8回の放出を実施。
- トリチウムの年間放出量は、約10兆 \AA クルと上限値22兆 \AA クルの半分以下。
- 放出するALPS処理水が異なることから、放出開始日から次回放出開始の前日までを評価期間として放出ごとに被ばく評価を実施（最後の8回目のみ放出終了日までを評価期間）。

対象となる放出 (右端の数字は通算回数)	放出期間	トリチウム濃度 (\AA クル/L)	排水量 (m^3)	トリチウム 放出量 (\AA クル)
2023年度第1回-1	2023/8/24~9/11	約14万	7,788	約1.1兆
2023年度第2回-2	2023/10/5~10/23	約14万	7,810	約1.1兆
2023年度第3回-3	2023/11/2~11/20	約13万	7,753	約1.0兆
2023年度第4回-4	2024/2/28~3/17	約17万	7,794	約1.3兆
2024年度第1回-5	2024/4/19~5/7	約19万	7,851	約1.5兆
2024年度第2回-6	2024/5/17~6/4	約17万	7,892	約1.3兆
2024年度第3回-7	2024/6/28~7/16	約17万	7,846	約1.3兆
2024年度第4回-8	2024/8/7~8/25	約20万	7,897	約1.6兆
合計			62,631	約10兆

ソースターム（核種別の年間放出量）

- ソースタームは、 I-131 を追加して放出実績（濃度×排水量）から作成。不検出核種は、保守的に検出限界値の濃度で含まれているとして計算。8回の放出量を合計した年間放出量を、前回評価の3つのソースタームと比較。
- トリチウムの放出量は、約10兆ベクレルと上限値22兆ベクレル（前回評価）の半分以下
- トリチウム以外の核種の放出量は、一部の不検出核種について、検出限界値が異なることによる増加がみられるものの、前回評価と大きく変わるものではない。



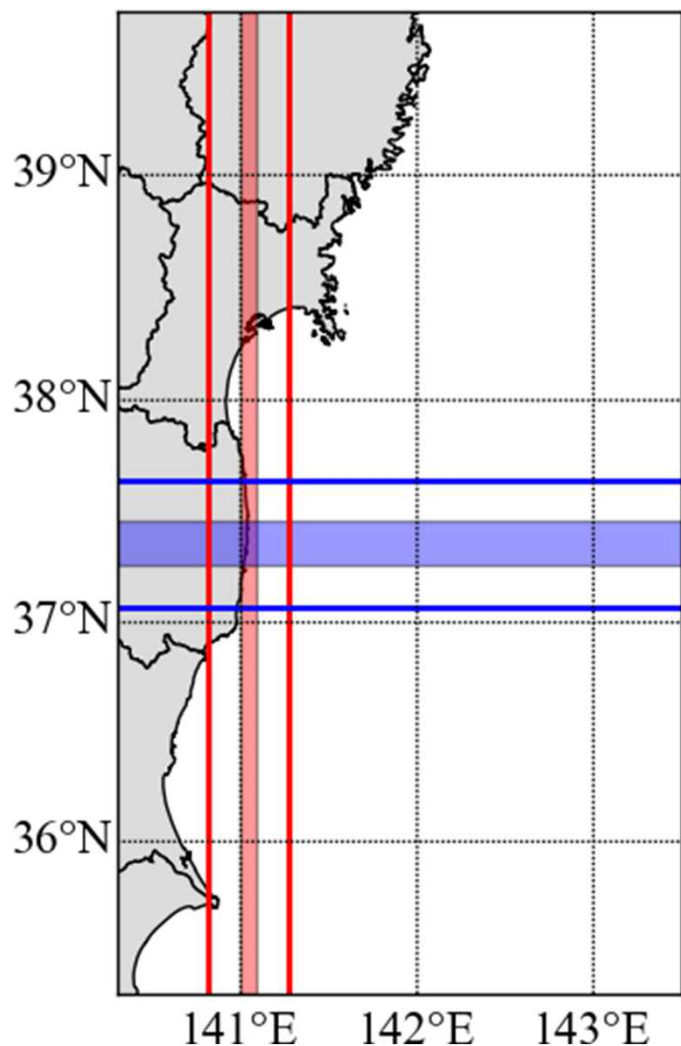
注 核種名に*が付いているのは、8回の放出がすべて不検出であった核種。検出限界値の濃度で含まれているとして放出量を評価した。

前回評価（放出前）とのソースタームの比較

環境中での拡散・移行（海域における拡散計算）

海洋拡散シミュレーションは、前回評価と同じモデルを使用し、トリチウムの放出実績および実際の気象海象データに基づき計算。

福島第一原子力発電所事故後の海水中セシウム濃度の再現計算で再現性が確認されたモデルを使用。さらに、発電所近傍海域を詳細にシミュレーションできるように高解像度化して計算。



- 領域海洋モデル（Regional Ocean Modeling System: ROMS）を福島沖に適用
- 海域の流動データ
 - 海表面の駆動力に気象庁短期気象予測データを内挿したデータ^[1]を使用
 - 外洋の境界条件およびデータ同化*の元データとして、海洋の再解析データ（JCOPE2^[2]）を使用
- モデル範囲：北緯35.30～39.71度、東経140.30～143.50度（490km×270km）、発電所周辺南北約22.5km×東西約8.4kmの海域を段階的に高解像度化
 - 解像度（全体）：南北約925m x 東西約735m（約1km）、鉛直方向30層
 - 解像度（近傍）：南北約185m x 東西約147m（約200m）、鉛直方向30層（左図の赤と青のハッチが交差した海域）
- 気象・海象データ
 - 2023年8月24日～2024年8月25日（368日間）

*データ同化：数値シミュレーションに実測データを取り入れる手法のこと。ナッジングともいう。

[1] 橋本 篤, 平口 博丸, 豊田 康嗣, 中屋 耕, “温暖化に伴う日本の気候変化予測（その1）-気象予測・解析システムNuWFASの長期気候予測への適用-,” 電力中央研究所報告, 2010.

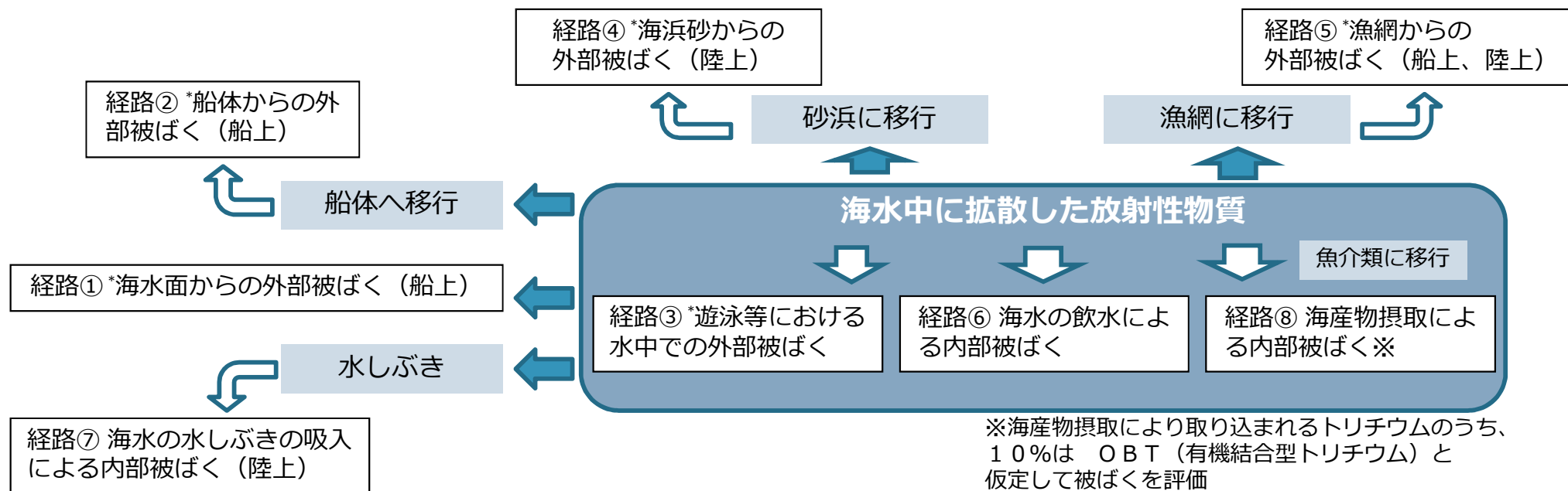
[2] Y.Miyazawa, R.Zhang, X.Guo, H.Tamura, D.Ambe, J.-S.Lee, A.Okuno, H.Yoshinari, T.Setou, and K.Komatsu,, “Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis,” 2009.

被ばく経路の特定（評価モデル）

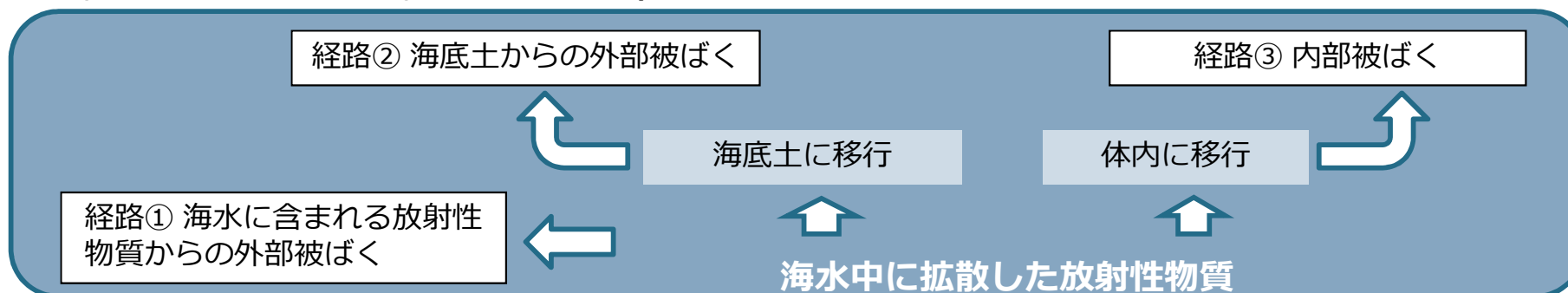
（1）移行経路および被ばく経路（人の被ばく）

- IAEA安全基準文書や国内の事例等を参考に設定（選定の経緯等は、前回評価の添付VI「評価対象以外の移行経路、被ばく経路について」に掲載）

※外部被ばくについては、放射性物質を希釈して放出することで影響は小さいと予想されることから、ガンマ線のみを対象として評価（*の経路）



（2）移行経路および被ばく経路（動植物）



環境中での拡散・移行（評価用放射性物質濃度の算出）

- 放出開始後1年間の、トリチウム放出実績および実気象・海象データに基づき海域のトリチウム濃度を計算。
- 発電所の周辺 10km×10kmの領域および発電所北側の砂浜滞在時被ばく評価地点で、トリチウムの評価期間ごとの平均濃度を算出。
- 遊泳等における水中からの外部被ばく、海浜砂からの外部被ばく、海水の飲水による内部被ばく、および海水の水しぶきの吸入による内部被ばくについては、砂浜滞在時の被ばくとして評価を実施。
- その他の被ばく経路については、発電所の周辺 10km×10kmの領域で評価を実施。
 - 上層（海水面、船体からの外部被ばく）、全層（漁網からの外部被ばく、海産物摂取による内部被ばく）、下層（動植物の被ばく）のそれぞれを計算。
 - 算出したトリチウム濃度から、放出量の比例計算によりその他の核種の濃度を算出。



* 共同漁業権非設定区域

線量評価に使用する 海水濃度の評価地点

出典：地理院地図（電子国土Web）をもとに東京電力ホールディングス株式会社にて作成

<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>

※なおトリチウム以外の核種についても、海水に溶けた状態で拡散・移行するものと評価。

代表的個人および標準動植物の設定

代表的個人、標準動植物について変更は無いが、被ばく日数は評価期間ごとに配分

(1) 代表的個人（人の被ばく）

- 生活習慣（外部被ばく）は、「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」により設定。
 - 年間120日（2,880時間）漁業に従事し、そのうち80日（1,920時間）は漁網の近くで作業を行う。
 - 海岸に年間500時間滞在し、96時間遊泳を行う。
- 海産物年間摂食量（内部被ばく）は、最新の食品摂取データから平均的な摂取量と魚介類を多く摂取する人の摂取量（平均+2σ*）の2種類評価。

表 6-1-13 海産物を平均的に摂取する個人の摂取量 (g/日)

(厚労省・令和元年国民健康・栄養調査 [6]を基に設定)

	魚類	無脊椎動物	海藻類
成人	58	10	11
幼児	29	5.1	5.3
乳児	12	2.0	2.1

表 6-1-14 海産物を多く摂取する個人の摂取量 (g/日)

(厚労省・令和元年国民健康・栄養調査 [6]を基準に設定)

	魚類	無脊椎動物	海藻類
成人	190	62	52
幼児	97	31	26
乳児	39	12	10

(2) 標準動植物（環境防護）

ICRP Pub.136**で示された海洋環境における標準動植物から、標準扁平魚、標準カニ、標準褐藻を選定。

- 扁平魚：周辺海域にヒラメ・カレイ類が広く生息しており、重要な操業対象魚。
- カニ：周辺海域にヒラツメガニやガザミなどが広く生息。
- 褐藻類：周辺海域にホンダワラ類やアラメが広く分布。

*σ：標準偏差

** ICRP Pub.136 "Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation"

代表的個人に対する線量の評価

外部被ばく（経路①②③④⑤）

- 船舶による移動や水中作業時の海水からの放射線による被ばく（経路①③）

被ばく量 = 実効線量換算係数 × 海水中の放射性物質濃度

- 海水から船体や砂浜などに移行した放射性物質からの放射線による被ばく（経路②④⑤）

被ばく量 = 実効線量換算係数 × 移行係数 × 海水中の放射性物質濃度

- 各放射性物質1ベクレル/ℓから人が受ける放射線量を示す実効線量換算係数は、廃止措置工事環境影響ハンドブック*1に定める係数を使用。
- 海水中に含まれる各放射性物質1ベクレル/ℓから船体や砂浜などにどれだけ放射性物質が移行するのかを示す移行係数は、主に六ヶ所再処理工場の許認可書類*2に定める係数を使用。砂浜移行係数のみ旧原子力安全委員会指針類*3に定める係数を使用。

*1 「発電用原子炉廃止措置工事環境影響評価技術調査－環境影響評価パラメータ調査研究（平成18年度経済産業省委託調査）添付資料廃止措置工事環境影響評価ハンドブック」, (財)電力中央研究所

*2 「六ヶ所事業所再処理事業指定申請書」, 日本原燃サービス株式会社

*3 「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」, 原子力安全委員会

代表的個人に対する線量の評価

内部被ばく（経路⑥⑦⑧）

被ばく量 = 実効線量係数 × 摂取率

- 遊泳中などに、誤って海水を飲む場合の摂取率は0.2ℓ/時と設定（経路⑥）
- 海浜で波による水しぶきを吸入した場合の摂取率（経路⑦）

摂取率 = 海水中の放射性物質濃度 × 呼吸率 × 水しぶきの空気中濃度 ÷ 海水密度

- 呼吸率は、旧原子力安全委員会指針類*1に定める係数を使用。
- 水しぶきの空気中濃度は、TECDOC-1759*2に定める係数を使用。

- 海産物摂取に関する摂取率（経路⑧）

摂取率 = 海水中の放射性物質濃度 × 濃縮係数 × 海産物年間摂取量

- 実効線量係数は、IAEA GSR Part 3*3に定めるものを使用。
- 濃縮係数は、IAEA TRS No.422*4に定める魚類、無脊椎動物（イカ、タコ除く）、海藻の値を使用
- 海産物の市場での希釈や採取から摂取までの各放射性物質の減衰は考慮せず。
- なお、海産物の摂取率は、魚類、無脊椎動物（エビ、カニ、イカ、タコ含む）、海藻に分類して算出。

*1 「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」, 原子力安全委員会

*2 IAEA-TECDOC-1759, "Determining the Suitability of Materials for Disposal at Sea under the London Convention 1972 and London Protocol 1996: A Radiological Assessment Procedure"

*3 IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards"

*4 IAEA Technical Report Series No.422, "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment"

代表的個人に対する線量の評価

評価基準（外部被ばくと内部被ばくの合算で評価）

- 一般公衆の線量限度 1 ミリシーベルト/年と比較。
- 2022年2月、原子力規制委員会が、放射線影響評価の確認における考え方と評価の目安として、0.05ミリシーベルト/年（50マイクロシーベルト/年）をIAEA安全基準における線量拘束値に相当するとの見解を示したことを受けて、この値（0.05ミリシーベルト/年）を本評価の線量拘束値として取り扱う。

記載の充実：モニタリングの結果を記載

- これまでのモニタリング結果を記載
- 海水中トリチウム濃度のモニタリング結果について、拡散シミュレーション結果との比較を記載

標準動植物に対する線量率の評価

動植物

- 動植物については、生息環境における線量率を評価。
- ICRPが示している標準動植物および線量換算係数を使用し、下記の計算式で計算。
- 外部被ばくは、海水からの被ばくと海底土からの被ばくを考慮。

$$\begin{aligned} \text{内部被ばく量} &= \text{内部線量換算係数} \times \text{海水中的の放射性物質濃度} \times \text{濃度比 (経路③)} \\ \text{外部被ばく量} &= 0.5 \times \text{外部線量換算係数} \times \text{海水中的の放射性物質濃度 (経路①)} \\ &\quad + 0.5 \times \text{外部線量換算係数} \times \text{海水中的の放射性物質濃度} \times \text{分配係数 (経路②)} \end{aligned}$$

- 内部、外部の線量換算係数は、ICRP Pub. 136^{*1} およびBiotaDC^{*2}に定めるものを使用。
- 濃度比は、ICRP Pub. 114^{*3}、IAEA TRS-479^{*4}およびTRS-422^{*5}の濃縮係数に定めるものを使用。
- 分配係数は、IAEA TRS-422に定めるものを使用 (2.3.OCEAN MARGIN *K*ds)。

評価基準

- ICRPがPub.124^{*6}にて提示している誘導考慮参考レベル (DCRL) ^{*7}と比較。

*1 ICRP Pub.136, "Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation"

*2 ICRP BiotaDCプログラム v.1.5.1 (<http://biotadc.icrp.org/>)

*3 ICRP Pub.114, "Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants"

*4 IAEA Technical Report Series No.479, "Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife"

*5 IAEA Technical Report Series No.422, "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment"

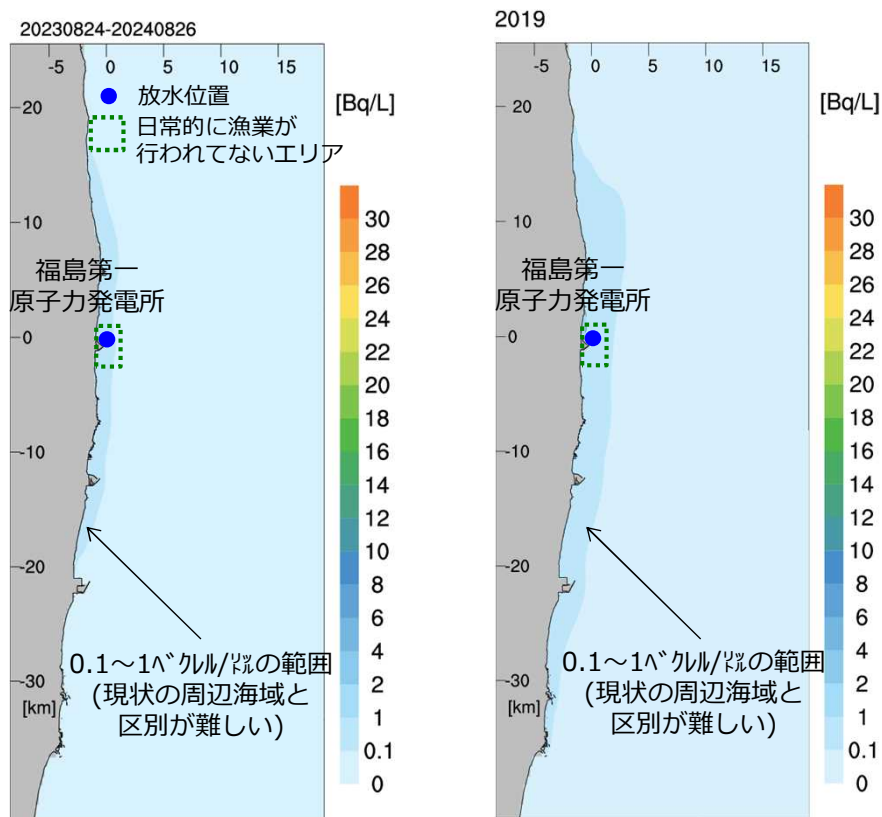
*6 ICRP Pub.124 "Protection of the Environment under Different Exposure Situations"

*7 誘導考慮参考レベル (Derived Consideration Reference Level, DCRL) : ICRPが提唱する生物種ごとに定められた1ケタの幅を持った線量率の範囲。これを超える場合には影響を考慮する必要がある線量率レベル。

1. 評価の変更内容
2. 評価の方法
- 3. 評価の結果**
4. 参考

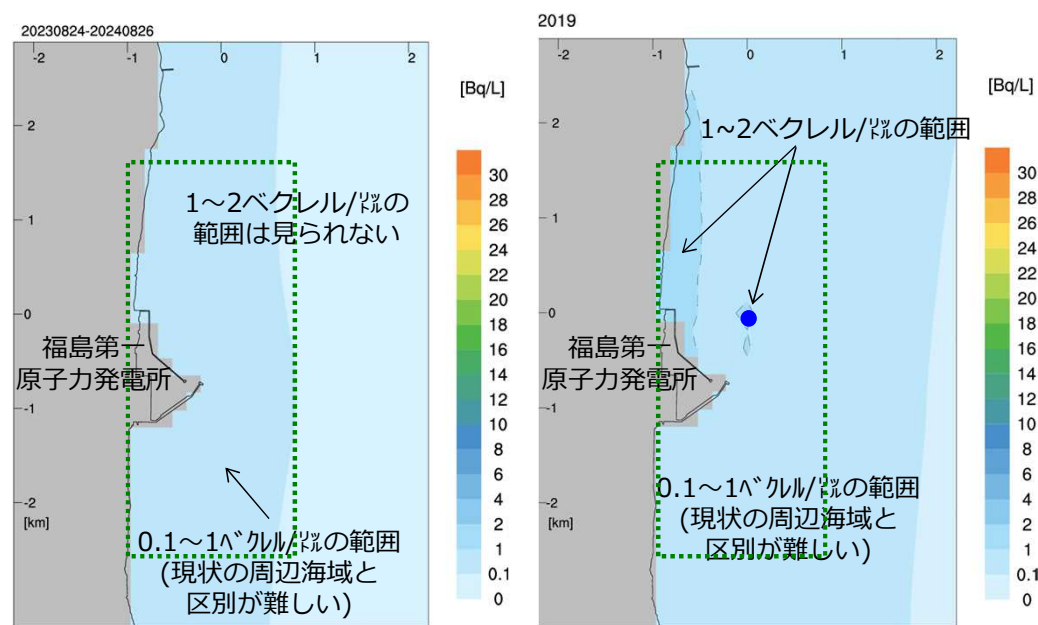
海洋における拡散シミュレーション結果

- 前回評価と同じ拡散シミュレーションモデルで、トリチウムの放出実績（放出量、放出期間）、実際の気象、海象データに基づき計算。
- トリチウム放出量が上限値22兆ベクレルに比べて少ないため、年間平均濃度の上昇範囲は小さくなっており、1ベクレル/L以上上昇する範囲は見られていない。



今回評価結果
(放出開始後1年間)

拡散シミュレーション結果（年間平均濃度）の比較（広域）



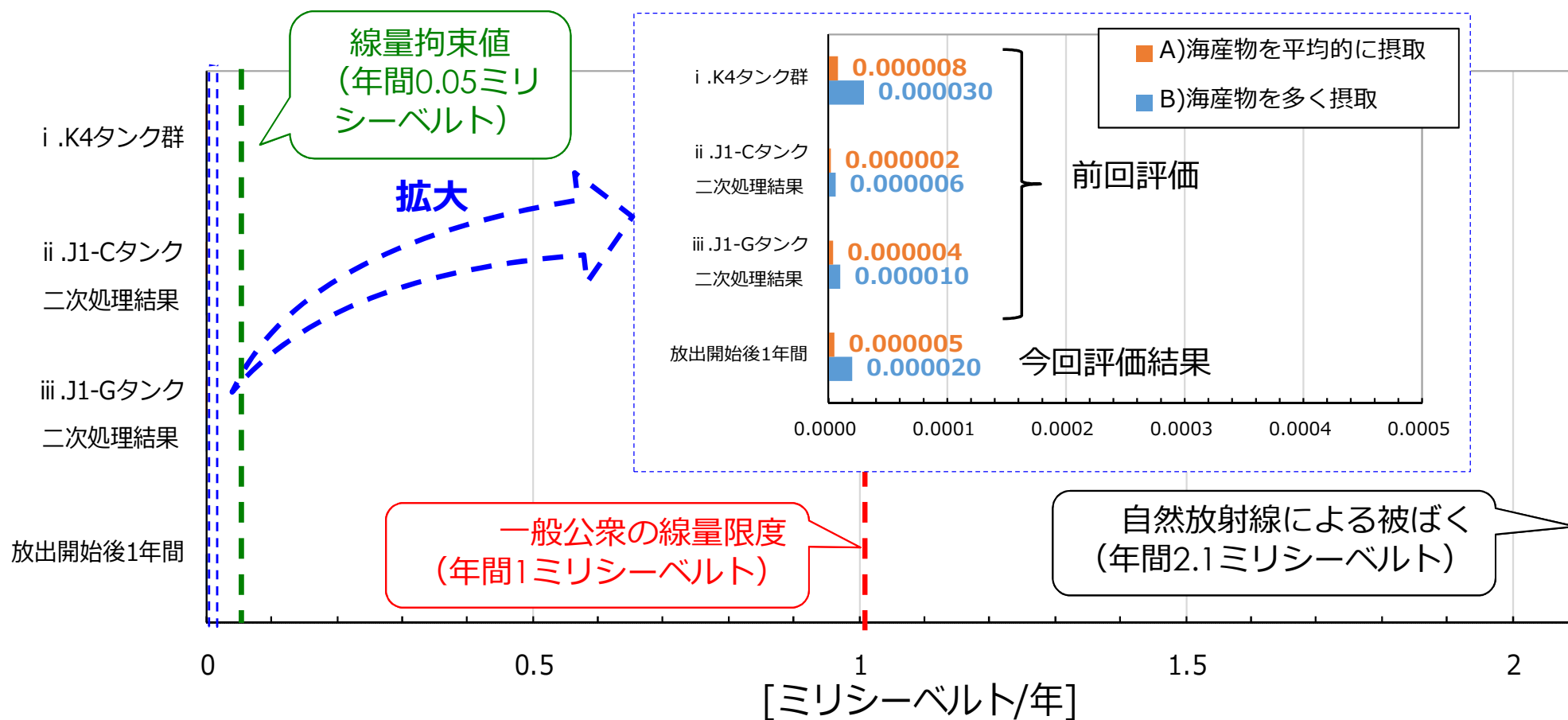
今回評価結果
(放出開始後1年間)

拡散シミュレーション結果（年間平均濃度）の比較（発電所周辺）

注：海洋拡散シミュレーションは、海域における拡散現象を再現しているが、ある地点、ある時刻のトリチウム濃度を再現しているものではない

人への被ばく評価結果 (前回評価との比較)

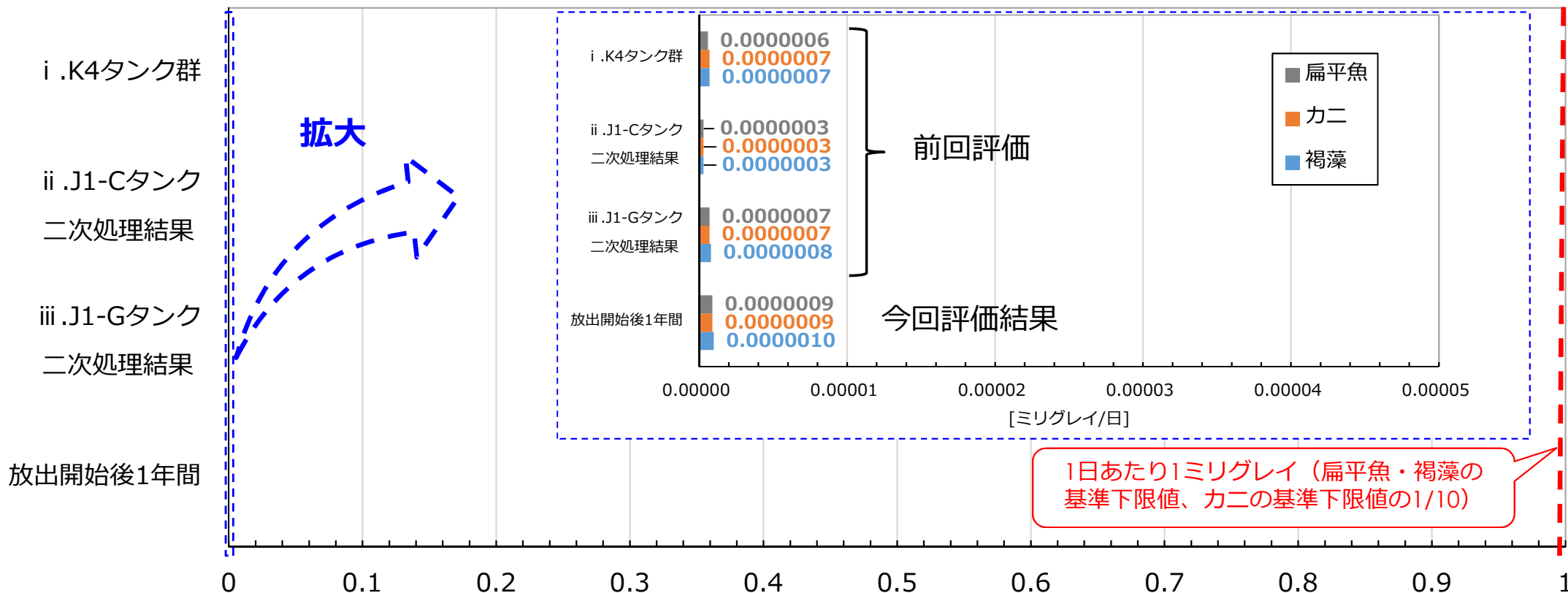
- 一般公衆の線量限度 (年間1ミリシーベルト) の約5万分の1、線量拘束値に相当する国内の原子力発電所に対する線量目標値 (年間0.05ミリシーベルト) の約2500分の1。
- 前回評価 (放出前) と同程度の極めて低いレベル。



(注) 本評価は、不検出核種についても検出限界値で存在すると仮定して試算したもの。前回評価に比べてトリチウムの放出量は半分以下と少なかったものの、不検出核種の一部で検出限界値が高くなり評価上の放出量が増えて被ばくが増えた核種があるため、被ばく評価値は半分以下とはなっていない。

動植物の被ばく評価結果 (前回評価との比較)

- 評価上の基準である誘導考慮参考レベル* (扁平魚1~10 ミリグレイ**/日、カニ10~100 ミリグレイ/日、褐藻1~10 ミリグレイ/日) の下限値に対して約100万分の1 (褐藻) ~約1100万分の1 (カニ) と前回評価 (放出前) と同程度の極めて低いレベル。



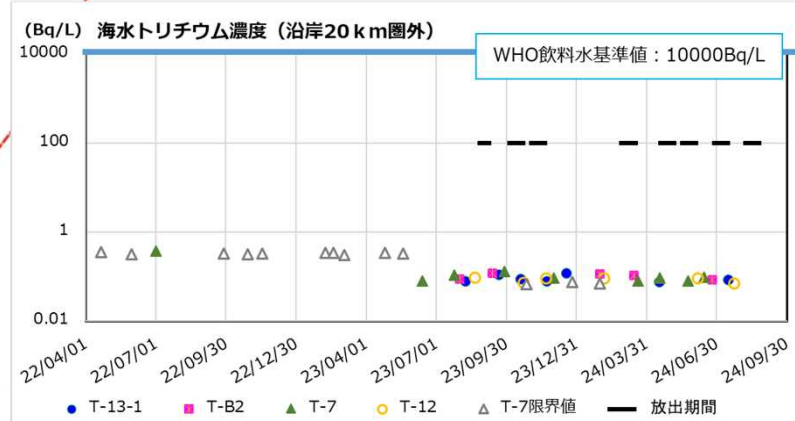
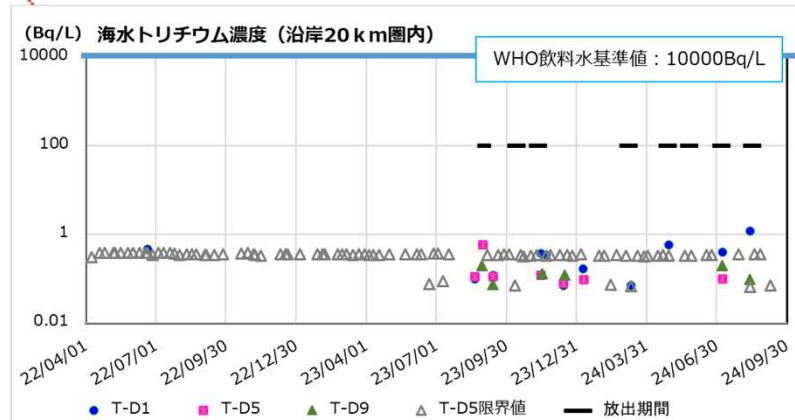
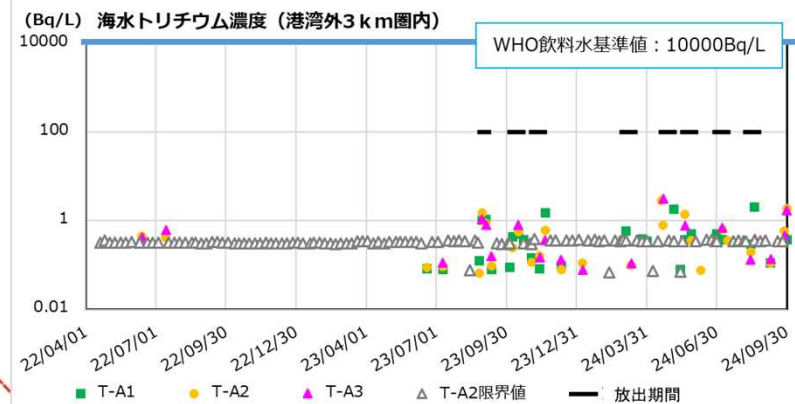
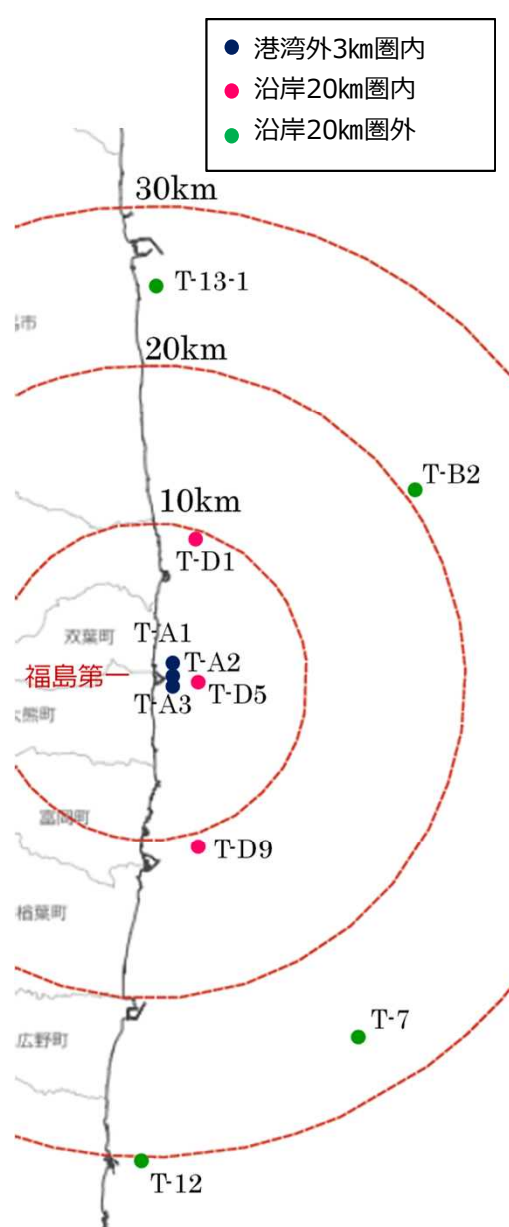
(注) 本評価は、不検出核種についても検出限界値で存在すると仮定して試算したもの。前回評価に比べてトリチウムの放出量は半分以下と少なかったものの、不検出核種の一部で検出限界値が高くなり評価上の放出量が増えて被ばくが増えた核種があるため、被ばく評価値がわずかに増加した。

* 誘導考慮参考レベル (Derived Consideration Reference Level, DCRL) : ICRPが提唱する生物種ごとに定められた1ケタの幅を持った線量率の範囲。これを超える場合には影響を考慮する必要がある線量率レベル。

** グレイ : 物質の吸収線量 (吸収したエネルギーの量) を示す単位、シーベルトは、人体が受けた放射線による影響の大きさを示す単位。正確には $\text{シーベルト} = \text{修正係数} \times \text{グレイ}$ だが、ガンマ線、ベータ線ではほぼ同等

モニタリング結果

- 周辺海域の海水中トリチウム濃度のモニタリング結果を距離別に整理。
- 放水口近傍の調査点では、放出中にトリチウム濃度の上昇が見られるものの、設定した指標等に比べて低い濃度。
- 放水口から離れるとトリチウム濃度の上昇は小さくなり、沿岸20km圏外では、放出開始後もトリチウム濃度の上昇は見られていない。
- 拡散シミュレーションの結果と同じ傾向であり、放出されたALPS処理水は海域で十分に拡散希釈されているものと判断。



注：海洋拡散シミュレーションは、海域における拡散現象を再現しているが、ある地点、ある時刻のトリチウム濃度を再現しているものではない

1. 評価の前提となる放出方法
2. 評価の方法
3. 評価の結果
4. **参考**

【参考】安全確保のための設備の全体像

