

## 添付 I トリチウムの被ばく評価における有機結合型トリチウムの影響について

ALPS 処理水には、大量のトリチウム水 (HTO) が含まれる。トリチウム水は、人を含む動植物の体内に取り込まれると、トリチウム水のまま水としてふるまう自由水型トリチウム (FWT : Free Water Tritium) から、一部が組織に取り込まれた有機結合型トリチウム (OBT : Organically bound tritium) に変換される。OBT は、FWT に比べて体内に長く留まることから被ばく影響も大きく、ICRP では OBT を摂取した場合の実効線量係数をトリチウム水と別に定めている。

### I-1 トリチウムの体内動態について

ICRP Publication 56[I1]のモデルによれば、体内に取り込まれたトリチウム水 (HTO) の約 3% が OBT に変化し、FWT よりも長く体内に留まるとしている。体内における半減期は、FWT で約 10 日、OBT では約 40 日としている。(図 I-1)

一方、OBT として体内に取り込まれたトリチウムは、血液中で 50% が直ちに FWT に変換されるとしている。それぞれのトリチウムは上記の半減期で、最終的には血液からトリチウム水として対外に排出される。(図 I-2)

これらの体内における動態モデルを踏まえ、ICRP Publication 72[I2]におけるトリチウムの実効線量係数は、それぞれ以下の通りとされている。

- ・自由水型トリチウム (FWT)                      1.8E-11 Sv/Bq
- ・有機結合型トリチウム (OBT)                    4.2E-11 Sv/Bq

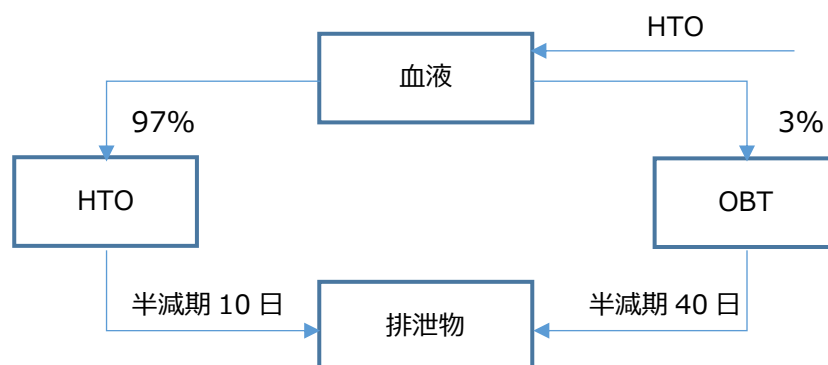
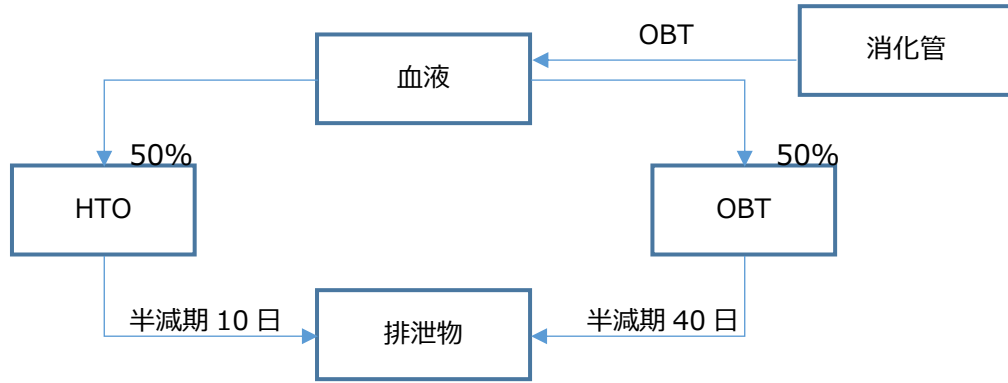


図 I-1 トリチウム水 (HTO) 摂取の ICRP モデル  
(UNSCEAR2016 附属書 C[I3]より引用)



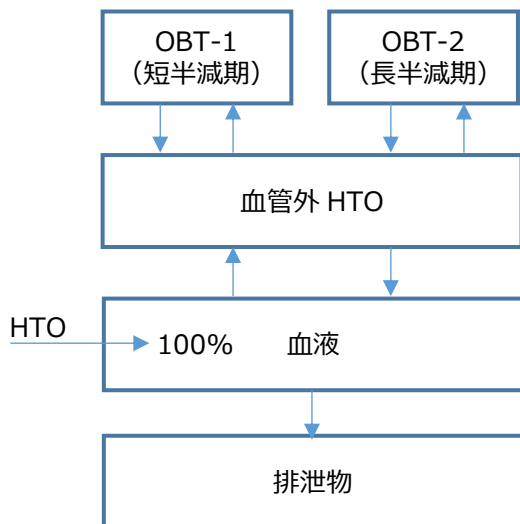
**図 I-2 OBT 摂取の ICRP モデル**  
(UNSCEAR2016 附属書 C より引用)

なお、ICRP Publication 134 [I4]では新しい体内動態モデルが示されており、体内半減期約 40 日の OBT に加え、体内半減期約 1 年と更に長期間体内に留まる OBT をモデルに組み込んでいる。

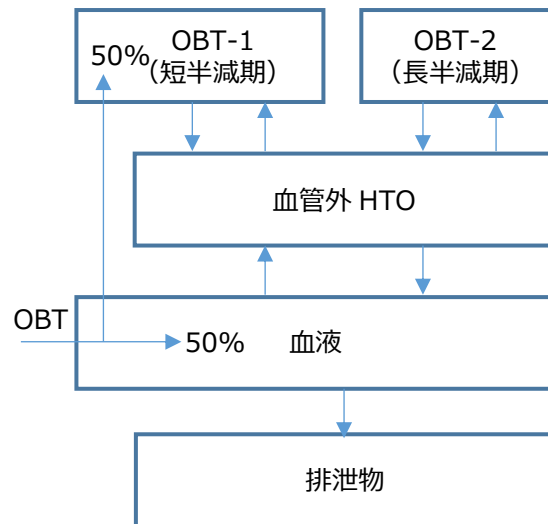
このモデルによる実効線量係数は以下の通り Publication 72 よりも高くなっているが、こちらで計算した場合も被ばく評価結果への影響が大きく変わるものではない。

- ・自由水型トリチウム (FWT)                    1.9E-11 Sv/Bq
- ・有機結合型トリチウム (OBT)                5.1E-11 Sv/Bq

本モデルでは、トリチウム水を継続して摂取した場合、全身のトリチウムのうち約 6%が OBT と予測されるとしている。



**図 I-3 HTO 摂取の ICRP 新モデル**  
(UNSCEAR2016 附属書 C より引用)



**図 I-4 OBT 摂取の ICRP 新モデル**  
(UNSCEAR2016 附属書 C より引用)

## I-2 OBT 摂取による被ばく評価への影響について

ALPS には、共沈、吸着、物理フィルターなどが設けられており、除去対象の 62 核種をその化学形態に依らず除去している。これまでの分析結果からは、有機物が多く含まれているような状況は見られていない（参考 D「ALPS 処理水等の水質について」参照）。従って、ALPS 処理水に含まれるトリチウムは、全量 HTO とし、飲水や海水のしぶきの吸入による内部被ばくの評価においては、OBT は考慮せず全量 HTO として評価を行った。

一方、環境中の動植物においては、トリチウム水の一部が OBT に変換されることから、海産物として摂取するトリチウムの一部は OBT であることが考えられる。ただし、環境中でトリチウムと水素の同位体比率が変わるような濃縮は見られないこと、及び海産物の重量の 7 割～9 割程度が水であることから、OBT によって、海産物中のトリチウム濃度が大きく変わることは無いと考えられる。

トリチウム水摂取の実効線量係数を  $DC_{FWT}$ 、OBT 摂取の実効線量係数を  $DC_{OBT}$ 、摂取するトリチウムの内 OBT の比率を  $X\%$  とした場合、実効線量係数  $DC_{補正}$  は、次式で表せる。

$$DC_{補正} = (1-X/100) DC_{FWT} + X/100 DC_{OBT} \quad (I1)$$

式 (I1) により補正した実効線量係数を表 I-1 に示す。

本報告書では、海産物摂取による内部被ばくの評価において、OBT の割合を 10% として計算を行った。

**表 I-1 海産物から摂取するトリチウムのうち OBT の割合により補正した実効線量係数**

海産物の OBT の割合 (%)	実効線量係数 (mSv/Bq)			備考
	成人	成人	成人	
0	1.8E-08	3.1E-08	6.4E-08	
10	2.0E-08	3.5E-08	7.0E-08	評価に使用
20	2.3E-08	3.9E-08	7.5E-08	
100	4.2E-08	7.3E-08	1.2E-07	

### I-3 海生動植物のOBTについて

環境中における、HTO と OBT の同位体比については、フランスのラ・アーグ再処理施設周辺で行われたモニタリングの結果（図 I-5）が示されている[I5]。海藻から魚類までどの種においても同位体比は同じであり、濃縮するような傾向は見られていない。

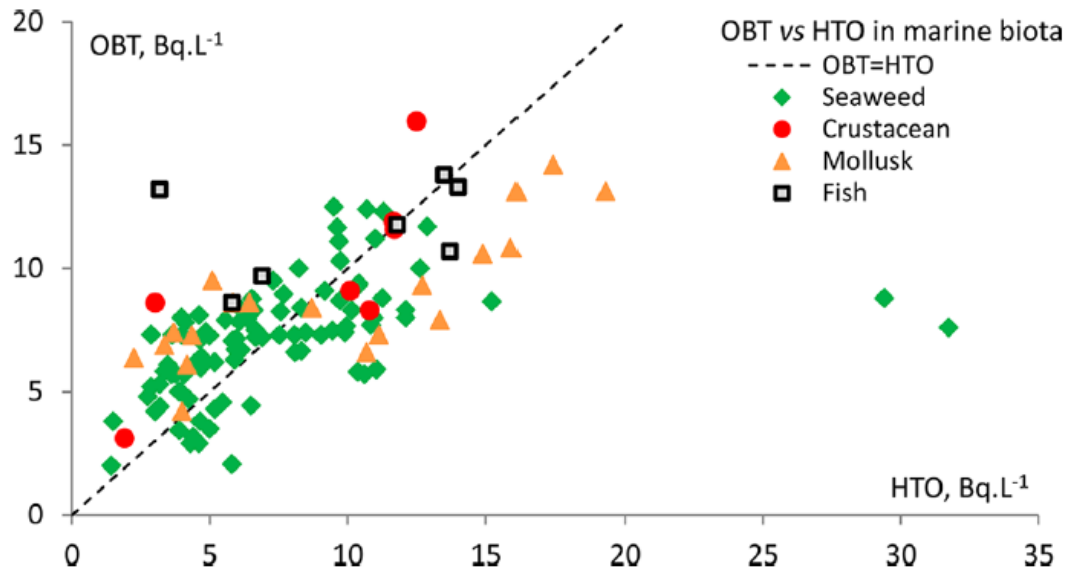


図 I-5 ラ・アーグ再処理施設周辺海域で行われた海生動植物中の OBT と HTO 濃度の調査結果

また、当社が福島第一原子力発電所周辺で 2014 年以降実施してきた魚のモニタリングにおいても、これまでに測定した 83 試料で OBT が検出されたことは無い。



## 参照文献

- [I1] ICRP Publication 56 "Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides:Part1",1989
- [I2] ICRP Publication 72 " Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients",1995
- [I3] 国連科学委員会(UNSCEAR) 2016年報告書 "SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION UNSCEAR 2016 Report ANNEX C BIOLOGICAL EFFECTS OF SELECTED INTERNAL EMITTERS—TRITIUM",2017
- [I4] ICRP Publication 134 "Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2",2016
- [I5] Bruno Fievet, Julien Pommier, Claire Voiseux, Pascal Bailly du Bois, Philippe Laguionie, Catherine Cossonnet,§ and Luc Solier † "Transfer of Tritium Released into the Marine Environment by French Nuclear Facilities Bordering the English Channel",2013

## 添付 II ALPS 処理水の放出に係る期間に関する考察

福島第一原子力発電所では、ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設を設置し、タンクに貯留された ALPS 処理水を放出することにより、「東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」や「東京電力福島第一原子力発電所 中期的リスクの低減目標マップ」に沿った廃炉作業に必要な敷地を確保する計画である。

本項では、ALPS 処理水を計画的に放出しタンク容量を減らしていくことで、廃炉作業に必要な敷地を確保できることを、ALPS 処理水放出シミュレーションを用いてお示しする。

### II-1. ALPS 処理水放出シミュレーションの前提条件

ALPS 処理水放出シミュレーションの前提条件として、シミュレーション期間、希釈放出設備の仕様、放出する ALPS 処理水に関する条件について以下の通り定める。

シミュレーション期間として、2021 年度<sup>1</sup>からの 1 年単位でのシミュレーションとし、2023 年度より放出を開始し、2051 年度<sup>2</sup>に放出完了する前提とする。

希釈放出設備の仕様として、ALPS 処理水の流量は最大 500m<sup>3</sup>/日、年間稼働率は 8 割（放出日数 292 日）を前提とする。海水流量は、海水ポンプの稼働台数が 1～3 台として、17 万～51 万 m<sup>3</sup>/日とする。

放出する ALPS 処理水に関する条件として、年間トリチウム放出量は 22 兆 Bq を上限とするとともに、ALPS 処理水の海洋放出は廃炉作業に必要な敷地の確保が目的であることから、各年度におけるタンク容量を制約条件とする。また、トリチウムは半減期 12.32 年の放射性物質であることから、1 年間に約 5.5%減少する前提とする。なお、放出開始当初は少量から放出する計画であることから、2023 年度の年間トリチウム放出量は 2024 年度の半分と設定する。

加えて、今後放出する ALPS 処理水には、「日々発生する ALPS 処理水」と「タンクに貯留されている ALPS 処理水等」がある。これらの水の放出順序として、「タンクに貯留されている ALPS 処理水等」のうち測定・確認用設備として使用する K4 タンク約 3 万 m<sup>3</sup>を放出した後、「日々発生する ALPS 処理水」及び「タンクに貯留されている ALPS 処理水等」のトリチウム濃度の薄い順に放出する前提とする。なお、「日々発生する ALPS 処理水」は、建屋内トリチウム総量が 0 となるまで、発生する限り放出を継続する。この際、「日々発生する ALPS 処理水」の 1 日当たりの

<sup>1</sup> 日本国内における 1 事業年度は 4 月 1 日に開始し翌年 3 月 31 日に終了する。

<sup>2</sup> 中長期ロードマップにおいては、放射性物質の放出が管理され放射線量が大幅に抑えられている状況を達成した 2011 年 12 月から 30～40 年後の廃止措置終了が目標として定められている。

発生量については、2025 年以降に 100m<sup>3</sup>/日となるよう、段階的に汚染水発生量が毎年 10m<sup>3</sup>/日ずつ減少することを前提とする。

表 II-1 ALPS 処理水放出シミュレーションの前提条件

年間トリチウム放出量 (22 兆ベクレル/年未満)	敷地利用計画に影響を与えない範囲で海洋放出完了が 2051 年度となる放出総量を設定
シミュレーション 評価開始日	2021 年 4 月 1 日 (1 年単位でのシミュレーション)
放出開始日	2023 年 4 月 1 日
ALPS 処理水流量	最大 500m <sup>3</sup> /日
希釈用海水流量	17 万 m <sup>3</sup> /日 (海水ポンプ 1 台) ~51 万 m <sup>3</sup> /日 (海水ポンプ 3 台)
ALPS 処理水 放出順序	測定・確認用設備として使用する K4 タンク約 3 万 m <sup>3</sup> をトリチウム濃度の薄い順に放出 その後、その他のタンク・新規発生 ALPS 処理水もトリチウム濃度の薄い順に放出
トリチウム減衰	半減期 12.32 年として考慮 (1 年間で約 5.5%減少)、新規発生分も減衰考慮
ALPS 処理水発生量	2025 年度以降に 100m <sup>3</sup> /日となるよう、段階的に汚染水発生量が毎年 10m <sup>3</sup> /日ずつ減少することを仮定
放出日数	292 日 (稼働率 8 割)

なお、「日々発生する ALPS 処理水」については、今後発生するものであり不確実性が高いことから、トリチウム総量が最も多いケースと、トリチウム総量が最も少ないケースの 2 ケースで評価を行った。トリチウム総量が最も多いケースでは、新規発生トリチウム濃度として 2021 年 1 月から 6 月のうちの最大値 44.8 万 Bq/L を、建屋内トリチウム総量は事故時点でのトリチウム総量 3400 兆 Bq が建屋又はタンクに全量残存していると仮定し約 1150 兆 Bq を前提とする。トリチウム総量が最も少ないケースでは、新規発生トリチウム濃度として 2021 年 1 月から 6 月のうちの最小値 21.5 万 Bq/L を、建屋内トリチウム総量は建屋内滞留水貯水量及び濃度より推計した約 81 兆 Bq を前提とする。

表 II-2 ALPS 処理水放出シミュレーションの評価ケース

ケース	トリチウム総量が最も多いケース	トリチウム総量が最も少ないケース
新規発生 トリチウム濃度	44.8 万 <sup>ベ</sup> クル/ℓ <sup>ベ</sup> (2021/1/5、2021 年最大)	21.5 万 <sup>ベ</sup> クル/ℓ <sup>ベ</sup> (2021/6/1、2021 年最小)
建屋内トリチウム総量 (2021/4/1 時点)	約 1150 兆 <sup>ベ</sup> クル (事故時 3400 兆 <sup>ベ</sup> クルが建屋・タケに全量残存)	約 81 兆 <sup>ベ</sup> クル (建屋内滞留水貯水量及び濃度より推計)

これらの前提条件のもと、毎年度の年間トリチウム放出量の最小値、ALPS 処理水等貯水量、ALPS 処理水平均流量及び海水希釈前後のトリチウム平均濃度を評価した。

## II-2. ALPS 処理水放出シミュレーション結果

それぞれのケースについて、敷地利用計画に影響を与えないよう年間のトリチウム放出総量を変化させ、海洋放出完了がちょうど 2051 年度となる放出総量を評価した結果、トリチウム総量が最も多いケースの年間トリチウム放出量の最大は 22 兆 Bq、トリチウム総量が最も少ないケースの年間トリチウム放出量の最小は年間最大 16 兆 Bq となり、いずれのケースにおいても、年間 22 兆 Bq の範囲内で 2051 年度までに放出完了することを確認した。

各年度の年間トリチウム放出量は、トリチウム総量が最も多いケースでは、2023 年度は 11 兆 Bq/年、2024～2029 年度は 22 兆 Bq/年、2030～2032 年度は 18 兆 Bq/年、2033 年度以降は 16 兆 Bq/年となった。一方、トリチウム総量が最も少ないケースでは、2023 年度は 8 兆 Bq/年、2024～2028 年度は 16 兆 Bq/年、2029 年度以降は 11 兆 Bq/年となった。

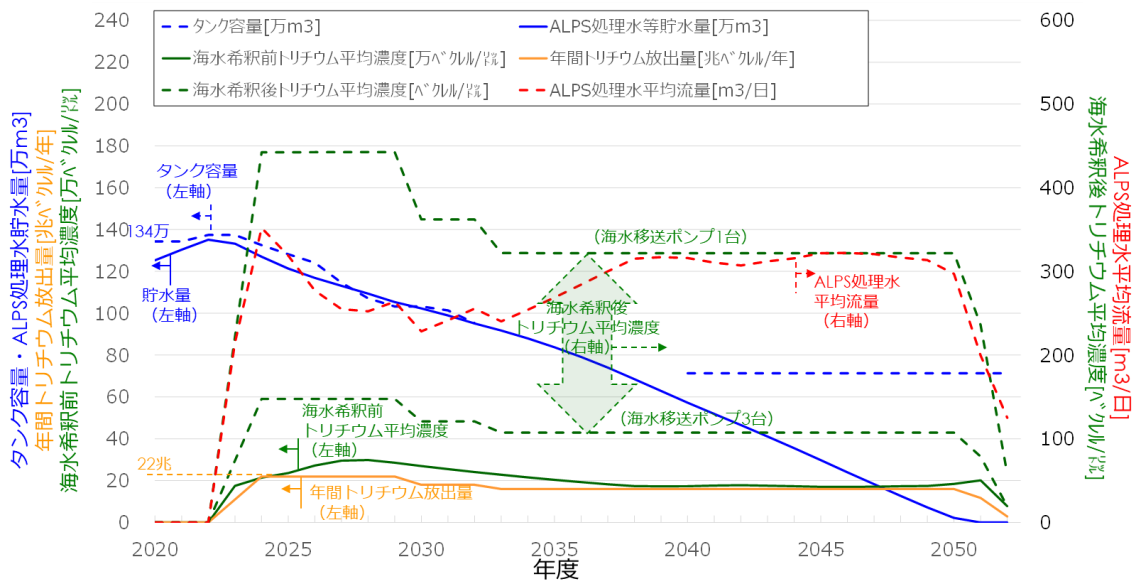


図 II-1 トリチウム総量が最も多いケース

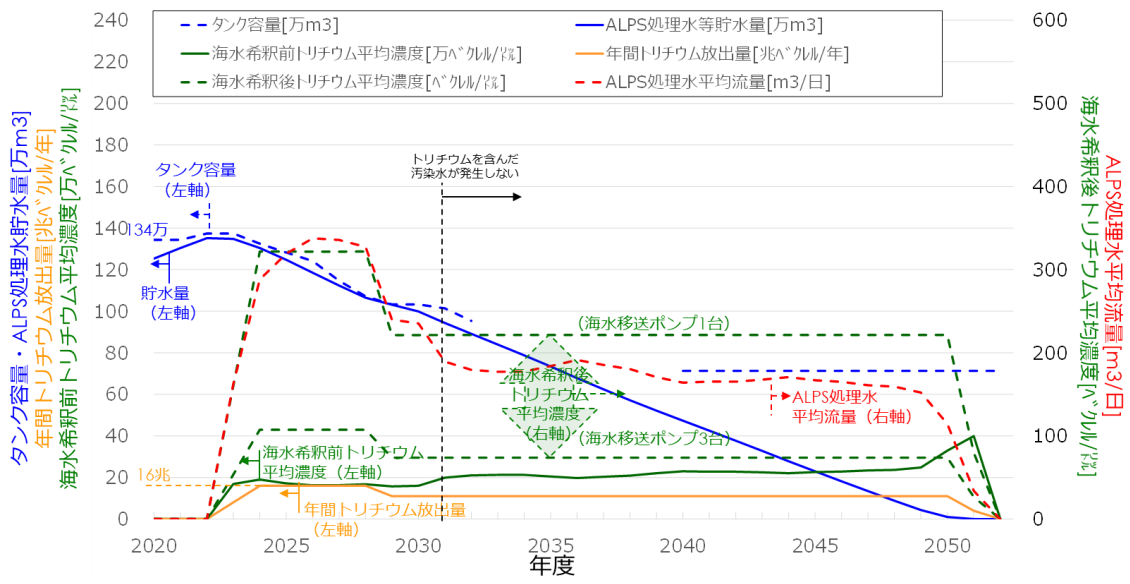


図 II-2 トリチウム総量が最も少ないケース

以 上

### 添付 III 希釈水の取放水による外部影響について

ALPS 処理水の放出にあたっては、取り除くことが困難なトリチウムの濃度を、法令に定める濃度を大幅に下回る 1500Bq/L 未満となるまで、海水により 100 倍以上に希釈して放出する。ALPS 処理水の希釈用海水は、5 号機取水口から取水する計画であるが、港湾内の海水濃度は周辺海域の海水よりも若干高い放射性物質濃度となっていることや、港湾内の海底土等の影響を考慮し、5/6 号機放水口北側から海水を引き込む計画である。

#### III-1. 港湾の海水濃度の状況

港湾の Cs-137 濃度の現状は図 III-1 の通り。1～4 号機取水口付近の濃度が高く、港湾口や 5,6 号機側に向けて 1～4 号機取水口付近から遠ざかると濃度が低下している。

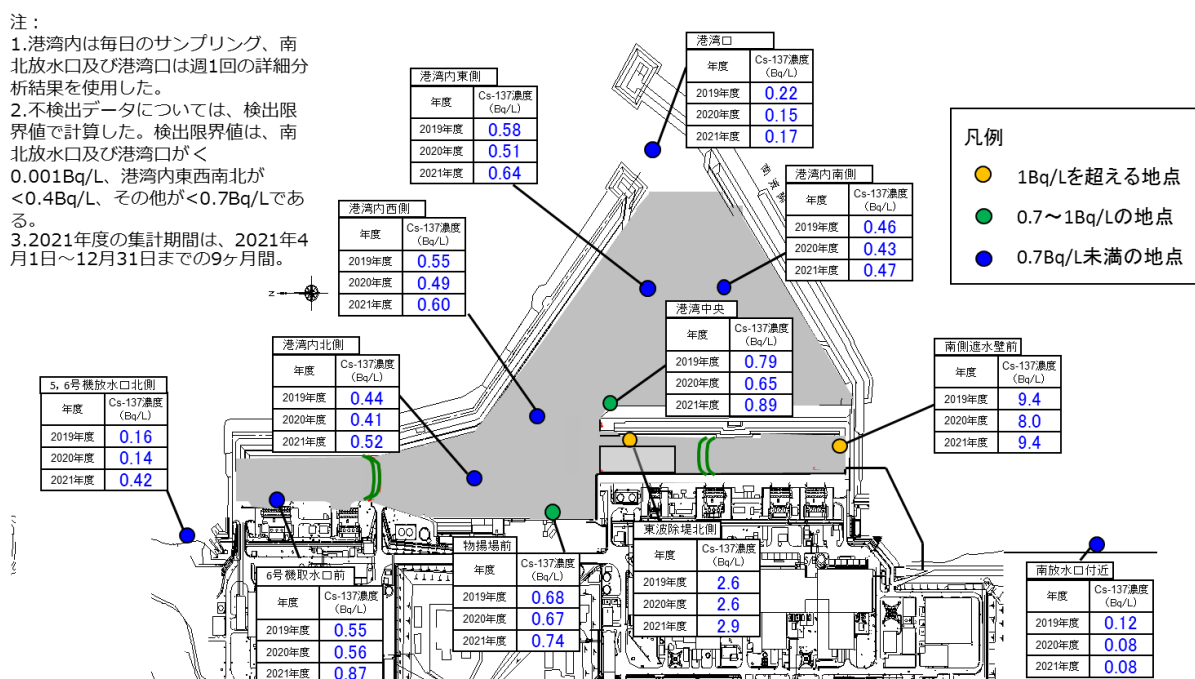


図 III-1 港湾のセシウム 137 濃度の状況

#### III-2. 希釈用海水の取放水に伴い想定される外部への影響とその対策について

III-1.で示したとおり、港湾内の海水中放射性物質濃度は、1-4 号機取水口付近が高い傾向がある。希釈用の海水は、6 号機取水口付近から取水する計画であり、1-4 号機取水路開渠側から 5, 6 号機側へ濃度の高い海水を引き込む可能性が考えられる。

対策として、取水設備設置にあたっては、5,6 号機取水路開渠を仕切堤（捨石傾斜堤＋シート）にて、1-4 号機側からの海水の流入を抑止し、代わりに北防波堤透過防止工の一部を改造し、港湾外から希釈用の海水を取水する設計とする。（図 III-2）

この結果、5,6号機取水路開渠の海水中放射性物質濃度は低下し、5,6号機取水路開渠への拡散が抑制される物揚場付近の濃度がわずかに上昇する可能性があるものの、希釈用海水の取放水に伴う外部への影響を抑制できるものとする。

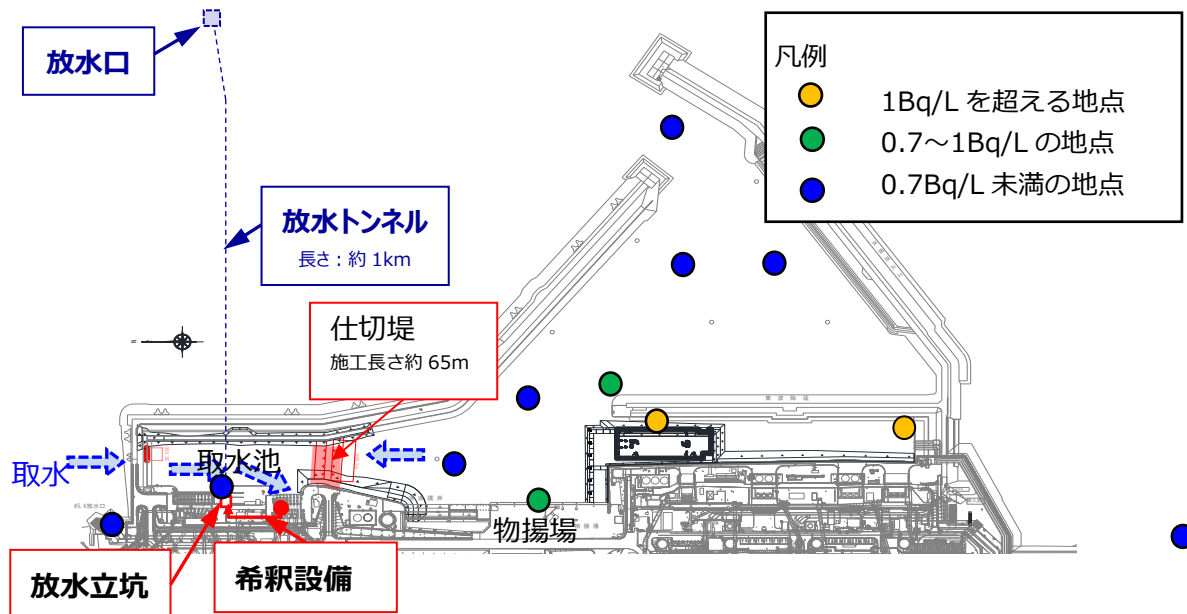


図 III-2 取放水計画と港湾のセシウム 137 濃度の状況

### III-3. 希釈用海水の取放水による外部影響の評価

対策の効果を確認するため、港湾内（1-4号機側）から取水する場合と港湾外（5,6号機放水口北側）から取水する場合の外部影響について比較評価を行った。

評価は、ALPS 処理水の放出における人への被ばく評価において、希釈用海水によって港湾外に移動する放射性物質の移動量をソースタームに付加する形で行った。

#### （1）ソースタームに付加する放射性物質移動量の設定

比較評価に使用する希釈用海水の濃度としては、港湾外取水が5,6号機放水口北側、港湾内取水が港湾内北側のモニタリング結果（2019年度から約3年間）から設定した。（図 III-3）

対象核種は、港湾の海水中に存在が確認されており、モニタリングの対象としている Cs-137、Sr-90、H-3（Cs-137、Sr-90 は、それぞれ子孫核種 Ba-137 と Y-90 が平衡状態で同じ濃度で含まれると仮定）とした。

なお、港湾内外で検出下限値が異なる（港湾内の方が高い）ため、港湾内北側の Cs-137、H-3 は過大評価となっている可能性があるものの、5,6 号機放水口北側の方が低濃度であることは明らかである。

注：

1. Cs-137 濃度は、5,6 号機放水口北側が週 1 回の詳細分析、港湾内北側は毎日の分析結果を使用。
2. Sr-90 濃度は、5,6 号機放水口北側が月 1 回、港湾内北側は週 1 回の分析結果を使用。
3. H-3 濃度は、いずれも週 1 回の分析結果を使用。
4. 2021 年度の集計期間は、2021 年 4 月 1 日～12 月 31 日までの 9 ヶ月間。

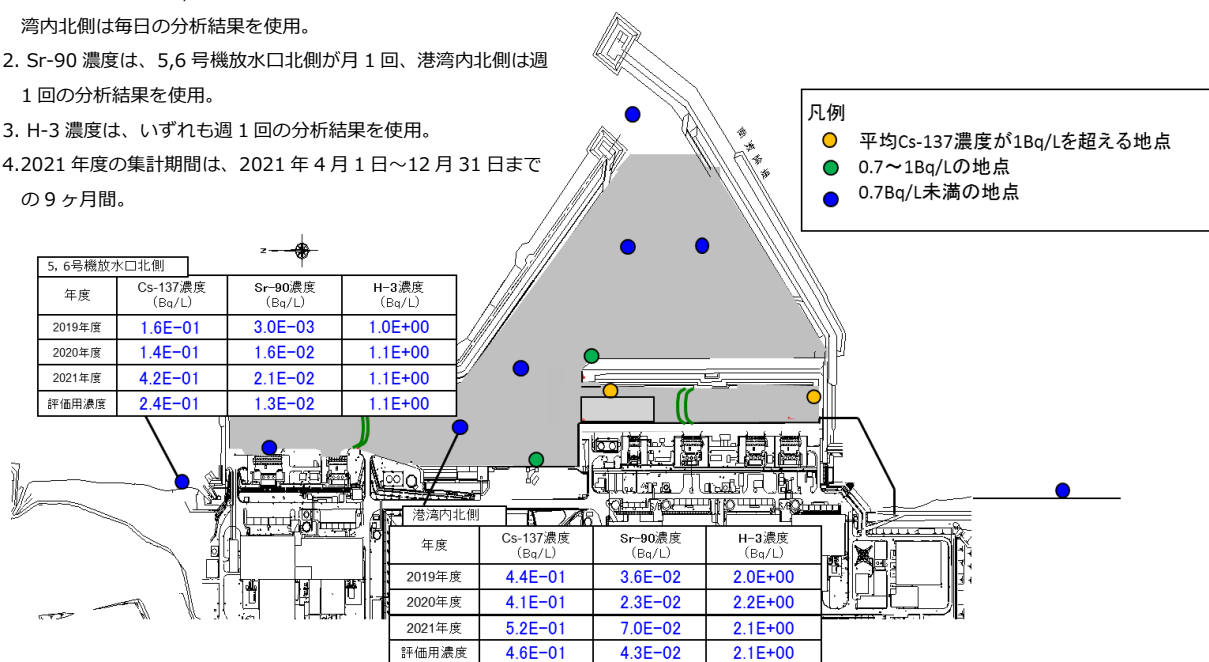


図 III-3 比較評価に使用する希釈用海水の放射性物質濃度

希釈用海水（希釈用海水ポンプ 3 台運転の場合）の中に含まれ、港湾外に移動する放射性物質の核種  $i$  の移動量  $M(i)$  は、上記で設定した希釈水の海水濃度  $C_D(i)$  より、以下の式により求めた。

$$M(i)[\text{Bq}/\text{年}] = C_D(i)[\text{Bq}/\text{L}] \times 51 \text{ 万}[\text{m}^3/\text{日}] \times 1000[\text{L}/\text{m}^3] \times 365[\text{日}/\text{年}] \times 0.8(\text{稼働率})$$

評価用のソースタームとしては、放射線影響評価に用いた「K4 タンク群の実測値」及び「仮想した ALPS 処理水」の 2 種類を用いた。追加した放射能移動量は表 III- 1 の通り。



表 III-1 希釈用海水による核種毎の年間放射能移動量

核種	港湾外取水 (5, 6号機放水口北側)		港湾内取水 (港湾内北側)	
	評価用濃度 (Bq/L)	移動量 (Bq/年)	評価用濃度 (Bq/L)	移動量 (Bq/年)
Cs-137	2.4E-01	3.6E+10	4.6E-01	6.9E+10
Sr-90	1.3E-02	1.9E+09	4.3E-02	6.4E+09
H-3	1.1E+00	1.6E+11	2.1E+00	3.1E+11

(2) 評価結果

被ばく評価の結果は表 III-2、III-3 の通り。港湾外から取水する方が外部への影響は小さい。

ただし、いずれの評価結果も線量限度 1mSv/年や線量目標値 0.05mSv/年と比べてわずかであり、仮に希釈水として港湾内の海水を取水した場合でも被ばくへの影響は小さい。

表 III-2 代表的個人（海産物を多く摂取する場合）の被ばく評価結果の比較

評価ケース	K4タンク群の実測値			仮想したALPS処理水			備考	
	放射線影響評価 報告書	5, 6号機放水口 北側取水	港湾内北側取水	放射線影響評価 報告書	5, 6号機放水口 北側取水	港湾内北側取水		
外部被ばく (mSv/年)	海水面からの被ばく	6.5E-09	7.4E-08	1.4E-07	1.8E-07	2.5E-07	3.1E-07	
	船体からの被ばく	5.2E-09	5.9E-08	1.1E-07	1.4E-07	1.9E-07	2.4E-07	
	海中作業における被ばく	2.8E-10	3.3E-09	6.0E-09	7.9E-09	1.1E-08	1.4E-08	
	砂浜からの被ばく	5.0E-07	6.0E-06	1.1E-05	1.4E-05	1.9E-05	2.4E-05	
	漁網からの被ばく	1.6E-06	1.7E-05	3.1E-05	4.5E-05	6.0E-05	7.4E-05	
内部被ばく (mSv/年)	6.1E-05	7.3E-05	8.4E-05	2.0E-03	2.0E-03	2.1E-03	成人の値	
合計 (mSv/年)	6.3E-05	9.6E-05	1.3E-04	2.1E-03	2.1E-03	2.2E-03		

表 III-3 年齢別の内部被ばく評価結果（海産物を多く摂取する場合）

評価ケース		K4タンク群の実測値			仮想したALPS処理水			備考
		放射線影響評価 報告書	港湾外取水 (5, 6号機放水口)	港湾内取水 (港湾内北側)	放射線影響評価 報告書	港湾外取水 (5, 6号機放水口)	港湾内取水 (港湾内北側)	
内部被ばく (mSv/年)	成人	6.1E-05	7.3E-05	8.4E-05	2.0E-03	2.0E-03	2.1E-03	
	幼児	9.4E-05	9.9E-05	1.1E-04	3.1E-03	3.1E-03	3.1E-03	
	乳児	1.1E-04	1.1E-04	1.2E-04	3.9E-03	3.9E-03	3.9E-03	

## 添付 IV 評価対象以外の移行経路、被ばく経路について（Tecdoc1759 による試算）

放射線影響評価報告書（設計段階）（以下、報告書）における移行、被ばく経路の選定は、国内の安全指針を策定してきた旧原子力安全委員会が了承した「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」（以下、軽水炉の線量評価について）、及び先行事例である六ヶ所再処理施設の事業指定申請書（以下、六ヶ所申請書）を参考とした。軽水炉の線量評価については、発電用原子炉施設の安全審査で行う一般公衆に対する線量評価の基本的考え方の検討として、重要と思われる被ばく経路についてのケーススタディを行っており、液体廃棄物中の放射性物質による線量評価としては、以下について試算を行っている。

- （1）海上作業における外部被ばく
- （2）遊泳における外部被ばく
- （3）海浜作業における外部被ばく
- （4）漁網操作における外部被ばく
- （5）海産物摂取による内部被ばく

なお、試算した結果として液体廃棄物による被ばくについては海産物の摂取による内部被ばくが最も重要な被ばく形態としている。

一方、六ヶ所申請書では、以下について線量計算を行い、審査を受けている。

- （1）海水面からの外部被ばく
- （2）船体からの外部被ばく
- （3）海中作業からの外部被ばく
- （4）漁網からの外部被ばく
- （5）海産物摂取による外部被ばく

近傍に砂浜が無い場合、海浜作業における外部被ばくは選定されていない。本報告書では、まずこれらを参考に被ばく経路の選定を行った。

一方、本報告書の作成にあたって参照した IAEA GSG-10 では、移行経路、被ばく経路について考慮すべき経路が示されている。これらの移行経路、被ばく経路について、あらためて経路の網羅性の観点から検討を行い、被ばく線量の試算を行った上で、被ばくの数値と網羅性の観点から経路の追加について検討を行った。

具体的には、IAEA の Tecdoc-1759 “Determining the Suitability of Materials for Disposal at Sea under the London Convention 1972 and London Protocol 1996: A

Radiological Assessment Procedure”（海洋汚染防止に関するロンドン条約（1972）とロンドン議定書（1996）[IV1]に基づき、海洋投棄する物質の適合性を判断するための放射線影響評価手順）に示された移行経路及び被ばく経路について、同書の評価手法による評価を行って、報告書の被ばく評価結果との比較を行った。

#### IV-1. Tecdoc1759 の評価手法

##### IV-1-1. ソースターム

被ばく評価手法や経路によって、被ばく影響の大きな核種が異なる事から、ソースタームは、64 核種すべてが含まれた実測値によるソースタームを用いた。

##### IV-1-2. 環境中での拡散、移行のモデリング

移行経路は、IAEA が GSG-10 で示した経路を踏まえて、以下の通り選定した。

###### (1) 直接放射線

ALPS 処理水の処分で取り扱う放射性物質は、ALPS 処理水又は希釈した ALPS 処理水のみである。ALPS 処理水は、あらかじめトリチウム以外の放射性物質が告示濃度比総和 1 未満となるまで浄化した水であり、ALPS 処理水及び施設からの直接放射線による被ばくの影響はほとんど無いと考え、報告書では、移行経路として選定しなかった。

本評価でも選定しない。

###### (2) 大気中での拡散、大気から地表への沈着と再浮遊

ALPS 処理水は、液体として海水により希釈して海洋放出すること、及び大気中への移行の前に海洋で希釈されることから、大気中に拡散した放射性物質による被ばくの影響はほとんど無いと考え、報告書では移行経路として選定しなかった。

本評価でも選定しない。

###### (3) 海水中での移流、拡散

ALPS 処理水は、液体として海洋放出することから、報告書では海水中での移流、拡散を選定した。

本評価でも選定した。

###### (4) 海水から船体への移行

海水中で拡散した放射性物資は、周辺海域で継続して操業する船舶の船体へ移行するものと考えられることから、報告書では移行経路として選定した。

Tecdoc1759 では経路、計算手法が例示されていないため、本評価では試算の対象としない。

#### (5) 海水から海岸堆積物への移行

海水中で移流、拡散した放射性物資は、海岸堆積物へ移行するものと考えられることから、報告書では移行経路として選定した。

Tecdoc1759 でも経路、計算手法が例示されていることから、本評価でも選定した。

#### (6) 海水から浮遊粒子及び海底堆積物への移行

海水中で移流、拡散した放射性物資は、一部が浮遊粒子及び海底堆積物に吸着し、移行により海水中濃度は低下する。一方で、海底堆積物には放射性物質が蓄積し、長期的には海水中濃度と海底堆積物の濃度は平衡に達する。報告書では、保守的に移流、拡散の段階では考慮せず、海生動植物の被ばく評価時に、海底堆積物との間で分配係数で平衡状態になっているものとして考慮した。

Tecdoc1759 では、放出された放射性物質が海水、浮遊粒子、海底堆積物に分配されるモデルによる計算手法が例示されていることから、本評価でも選定した。

#### (7) 海水から漁網への移行

海水中で移流、拡散した放射性物資は、海水中で使用される漁網への移行するものと考えられる。国内の先行事例においても評価されていることから、報告書では選定した。

Tecdoc1759 では経路、計算手法が例示されていないため、本評価では試算の対象としない。

#### (8) 海水から大気への移行

ALPS 処理水は、液体として海水により希釈して海洋放出すること、及び大気中への移行の前に海洋で希釈されることから、海水から大気中に拡散した放射性物質による被ばくの影響はほとんど無いと考え、報告書では移行経路として選定しなかった。

Tecdoc1759 では、海水から水しぶきとして移行する経路、計算手法が例示されており、経路として選定した。

(9) 海岸堆積物から大気への移行

海岸堆積物が大気に移行する量はわずかであり、海岸に滞在する時間も短いことから、被ばくによる影響はほとんど無いと考え、報告書では移行経路として選定しなかった。

Tecdoc1759 では経路、計算手法が例示されており、経路として選定した。

(10) 海水から海産物への移行

海水から海産物への移行（濃縮）は、広く知られており、軽水炉をはじめ、国内の先行事例においても評価されていることから、報告書では選定した。

Tecdoc1759 でも経路、計算手法が例示されており、経路として選定した。

拡散シミュレーションは、報告書と同じ計算結果を使用するが、Tecdoc1759 では、計算領域内に放出された核種の年間放出量と計算領域を通過する海水の量から求めた核種  $j$  の平衡濃度  $C_{BOX}(j)$  から、浮遊粒子濃度、海底堆積物への移行を考慮して溶存濃度  $C_{DW}(j)$  を次式により求める。

$$C_{DW}(j) = \frac{C_{BOX}(j)}{1 + K_d(j) \left( S + \frac{LB\rho_B}{D} \right)} \quad (IV\ 1)$$

ここで、

$K_d(j)$  は核種  $j$  の底質分配係数（単位： $m^3/kg$ ）である。

$S$  は浮遊物質濃度（単位： $kg/m^3$ ）である。 $3E-03kg/m^3$  を使用。

$LB$  は堆積物境界層の厚さ（単位： $m$ ）である。 $1E-02m$  を使用。

$\rho_B$  は堆積物境界層の密度（単位： $kg/m^3$ ）である。 $1500kg/m^3$  を使用。

$D$  はモデルの水深（単位： $m$ ）である。放水口位置の水深  $12m$  を使用。

浮遊粒子の質量密度  $C_p(j)$  ( $Bq/kg$ ) は、次式で求めた。

$$C_p(j) = K_d(j) C_{DW}(j) \quad (IV\ 2)$$

溶存態と浮遊粒子を合わせた海水中の濃度  $C_w(j)$  は、次式で求めた。

$$C_w(j) = (1 + K_d(j)S) C_{DW}(j) \quad (IV\ 3)$$

#### IV-1-3. 被ばく経路の特定

Tecdoc1759 に示された経路、計算手法から、以下の被ばく経路の試算を行った。

- ・ 砂浜からの外部被ばく
- ・ 海岸堆積物の不注意な摂取による内部被ばく
- ・ 遊泳中の飲水による内部被ばく
- ・ 飛散した海岸堆積物の吸入による内部被ばく
- ・ 海水の水しぶきの吸入による内部被ばく
- ・ 海産物摂取による内部被ばく
- ・ 皮膚の汚染による被ばく

計算方法は以下の通り。

##### (1) 砂浜からの外部被ばく

砂浜に移行した核種  $j$  からの外部被ばく  $E_{\text{ext,shore,public}}$  (Sv) は、次式により計算する。

$$E_{\text{ext,shore,public}} = t_{\text{public}} \sum_j C_S(j) DC_{\text{gr}}(j) \quad (IV\ 4)$$

$$C_S(j) = \frac{C_P(j) \rho_s d_s}{10} \quad (IV\ 5)$$

ここで

$t_{\text{public}}$  は、海岸の滞在時間 (単位: 時間)

$DC_{\text{gr}}(j)$  は、放射性核種  $j$  の地上汚染に対する線量換算係数 (単位: (Sv/h)/(Bq/m<sup>2</sup>))。米国環境保護庁が作成した、最新の FGR15※[IV 2]の地表汚染による線量換算係数を使用。表 IV -1 に示す。

$C_S(j)$  は海岸堆積物中の放射性核種  $j$  の表面汚染密度 (単位: Bq/m<sup>2</sup>)

$\rho_s$  は海岸堆積物の密度 (1.5E+03kg/m<sup>3</sup>) である。

$d_s$  は海岸堆積物の有効厚さ (単位: 0.1m) である。

浮遊粒子中における核種  $j$  の放射性物質濃度  $C_P(j)$  (単位: Bq/kg, 乾燥重量) は、式(IV 2)より求める。

(2) 海岸堆積物の不注意な摂取による内部被ばく

海岸堆積物の不注意な摂取による内部被ばく  $E_{ing,shore,public}$  (Sv) は、次式により計算する。

$$E_{ing,shore,public} = t_{public} H_{shore} \sum_j \frac{C_s}{\rho_s L_B} DC_{ing}(j) \quad (IV\ 6)$$

ここで、

$t_{public}$  は、海岸の滞在時間 (単位：時間)

$H_{shore}$  は、海岸堆積物の 1 時間当たりの摂取量 (単位：kg/h) である。

Tecdoc1759 の推奨値 5.0E-06kg/h を使用する。

$C_s(j)$  は海岸堆積物中の放射性核種  $j$  の表面汚染密度 (単位：Bq/m<sup>2</sup>)

$\rho_s$  は海岸堆積物の密度 (1.5E+03kg/m<sup>3</sup>) である。

$d_s$  は海岸堆積物の有効厚さ (単位：0.1m) である。

$DC_{ing}(j)$  は放射性核種  $j$  の経口摂取による単位取込量当たりの預託実効線量 (単位：Sv/Bq) [IV 3] である。表 IV -2 に示す。

(3) 海水の摂取による内部被ばく

海岸で遊泳中に誤って海水を飲んでしまう場合の内部被ばく  $E_{drink,public}$  (Sv) は、次式により計算する。

$$E_{drink,public} = t_{public} H_{swim} \sum_j C_w(j) DC_{ing}(j) \quad (IV\ 7)$$

ここで、

$t_{public}$  は、遊泳時間 (単位：時間)

$H_{swim}$  は、遊泳中の海水摂取率 (単位：L/h) である。保守的に 0.2L/h とした。

$C_w(j)$  は、式(IV 3)で求めた核種  $j$  の海水中濃度 (単位：Bq/m<sup>3</sup>)

$DC_{ing}(j)$  は放射性核種  $j$  の経口摂取による単位取込量当たりの預託実効線量 (単位：Sv/Bq) [IV 3] である。表 IV -2 に示す。

(4) 飛散した海岸堆積物の吸入による内部被ばく



海岸で滞在中に、飛散した海岸堆積物を吸入する場合の内部被ばく  $E_{inh,shore,public}$  (Sv) は、次式により計算する。

$$E_{inh,shore,public} = t_{public} R_{inh,public} DL_{shore} \sum_j C_p(j) DC_{inh}(j) \quad (IV\ 8)$$

ここで、

$t_{public}$  は海岸滞在時間（単位：時間）である。

$R_{inh,public}$  は、一般人の吸入速度（単位： $m^3/h$ ）である。Tecdoc1759の推奨値（成人  $0.92m^3/h$ ）を使用する。

$DL_{shore}$  は海岸堆積物の粉塵負荷係数（単位： $kg/m^3$ ）である。Tecdoc1759の推奨値  $2.5E-09kg/m^3$  を使用する。

$DC_{inh}(j)$  は放射性核種  $j$  の吸入による単位取込量当たりの預託実効線量（単位：Sv/Bq）である。表 IV -3 に示す。

堆積物中の放射性核種濃度  $C_p(j)$  ( $Bq/kg$ ) は、式(IV 2)から求められる。

#### (5) 海水の水しぶきの吸入による内部被ばく

海岸で滞在中に、波等による水しぶきを吸入する場合の内部被ばく  $E_{inh,shore,public}$  (Sv) は、次式により計算する。

$$E_{inh,spray,public} = t_{public} \cdot R_{inh,public} \frac{C_{spray}}{\rho_w} \sum_j C_w(j) DC_{inh}(j) \quad (G9)$$

ここで、

$t_{public}$  は海岸滞在時間（単位：時間）である。

$R_{inh,public}$  は、一般人の吸入速度（単位： $m^3/h$ ）である。推奨値（成人  $0.92m^3/h$ ）を使用する。

$C_{spray}$  は空気中の海水噴霧の濃度（単位： $kg/m^3$ ）である。Tecdoc1759の推奨値  $1.0E-02kg/m^3$  を使用する。

$\rho_w$  は海水の密度（ $1E+03kg/m^3$ ）である。

$C_w(j)$  は海水中の放射性核種  $j$  の濃度（単位： $Bq/m^3$ ）である。

$DC_{inh}(j)$ （単位：Sv/Bq）は、吸入による単位取込量当たりの預託実効線量であり、表 IV -3 を使用する。

(6) 海産物摂取による内部被ばく

海産物を摂取する場合の内部被ばく  $E_{\text{ing,food,public}}$  (Sv) は、次式により計算する。

$$E_{\text{ing,food,public}} = \sum_k H_B(k) \sum_j C_{\text{EB}}(j,k) DC_{\text{ing}}(j) \quad (\text{IV } 10)$$

ここで、

$H_B(k)$  は、魚介類  $k$  の年間摂取量 (単位: kg) である。

$DC_{\text{ing}}(j)$  は放射性核種  $j$  の経口摂取による単位取込量当たりの預託実効線量 (単位: Sv/Bq) である。表 IV -2 を使用する。

$C_{\text{EB}}(j,k)$  は、魚介類  $k$  の可食部における核種  $j$  の濃度であり、次式で求める。

$$C_{\text{EB}}(j,k) = CF(j,k) C_{\text{DW}}(j) \quad (\text{IV } 11)$$

ここで、

$CF(j,k)$  は、魚介類  $k$  の核種  $j$  に対する濃縮係数 (単位: (Bq/kg)/(Bq/L))

$C_{\text{DW}}(j)$  は海水中の放射性核種  $j$  の溶存濃度 (単位: Bq/m<sup>3</sup>) であり、式(IV 1)で求める。

(7) 海底堆積物が皮膚に付着した場合の皮膚の被ばく

漁網操作時に、漁網とともに引き上げられた海底堆積物が皮膚に付着した場合を想定し、皮膚の実効線量  $E_{\text{skin}}$  (Sv) は、次式により計算する。

$$E_{\text{skin}} = 0.01 t_{\text{public}} \sum_j S_d DC_{\text{skin}}(j) \quad (\text{IV } 12)$$

ここで、

0.01 は、皮膚の組織荷重係数

$t_{\text{public}}$  は、被ばくの継続時間。

$DC_{\text{skin}}(j)$  [(Sv/年)/(Bq/cm<sup>2</sup>)] は、IAEA SRS44[IV 4]に示されている皮膚等価線量換算係数 (ベータおよびガンマ放出核種) である。表 IV -4 に示した。

$S_d$  は表面汚染密度 (Bq/cm<sup>2</sup>) であり、次式から求めた。

$$S_d = K_d(j) C_{\text{DW}}(j) \rho_d \quad (\text{G13})$$

ここで

$K_d(j)$ は核種  $j$  の海水と海底堆積物の分配係数  $((\text{Bq/kg})/(\text{Bq/L}))$

$C_{\text{Dw}}(j)$ は、核種  $j$  の海水中の濃度(Bq/L)

$\rho$ は海底堆積物の密度( $1.5\text{E-}03\text{kg/cm}^3$ )

$d$  は皮膚に付いた海底堆積物の厚さであり、 $0.01\text{cm}$  とした。

#### IV-1-4. 被ばく評価の対象となる代表的個人の設定

被ばく評価の対象となる代表的個人の特性は、6-1-2.(4)と同じとした。

- ・ 漁業に年間 120 日 (2880 時間) 従事し、そのうち 80 日 (1920 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。
- ・ 海産物の摂取量は、海産物を多く摂取する個人の摂取量を使用する。(表 IV -5)

表 IV-1 砂浜からの放射線による実効線量換算係数 (米国 EPA FGR15 より引用)

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>2</sup> ))	備考
H-3	6.7E-22	
C-14	6.1E-19	
Mn-54	5.3E-16	
Fe-59	7.3E-16	
Co-58	6.2E-16	
Co-60	1.5E-15	
Ni-63	8.0E-20	
Zn-65	3.6E-16	
Rb-86	1.6E-16	
Sr-89	8.9E-17	
Sr-90	6.5E-18	
Y-90	1.5E-16	
Y-91	9.4E-17	
Nb-95	4.9E-16	
Tc-99	2.0E-18	
Ru-103	3.2E-16	
Ru-106	1.7E-20	
Rh-103m	4.3E-20	
Rh-106	3.4E-16	
Ag-110m	1.7E-15	
Cd-113m	6.3E-18	
Cd-115m	1.1E-16	
Sn-119m	9.6E-19	
Sn-123	8.1E-17	
Sn-126	1.1E-15	Sb-126m を考慮
Sb-124	1.2E-15	
Sb-125	2.7E-16	
Te-123m	7.7E-17	
Te-125m	4.1E-18	
Te-127	1.5E-17	
Te-127m	1.7E-18	Te-127 を考慮
Te-129	1.1E-16	

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>2</sup> ))	備考
Te-129m	5.1E-17	Te-129 を考慮
I-129	4.4E-18	
Cs-134	1.0E-15	
Cs-135	1.6E-18	
Cs-136	1.3E-15	
Cs-137	7.9E-18	
Ba-137m	3.9E-16	
Ba-140	1.6E-15	La-140 を考慮
Ce-141	4.5E-17	
Ce-144	1.1E-17	
Pr-144	2.0E-16	
Pr-144m	3.5E-18	
Pm-146	4.8E-16	
Pm-147	9.4E-19	
Pm-148	4.6E-16	
Pm-148m	1.3E-15	
Sm-151	1.1E-19	
Eu-152	7.2E-16	
Eu-154	7.9E-16	
Eu-155	3.1E-17	
Gd-153	4.3E-17	
Tb-160	7.1E-16	
Pu-238	2.1E-20	
Pu-239	4.2E-20	
Pu-240	2.2E-20	
Pu-241	1.7E-21	
Am-241	9.9E-18	
Am-242m	1.4E-17	Am-242 を考慮
Am-243	1.3E-16	Np-239 を考慮
Cm-242	2.6E-20	
Cm-243	7.1E-17	
Cm-244	3.1E-20	

表 IV-2 経口摂取による単位取込量当たりの預託実効線量 (IAEA GSR-Part3 より引用)

核種	単位取込量当たりの 預託実効線量 (Sv/Bq)	備考
H-3	1.8E-11	
C-14	5.8E-10	
Mn-54	7.1E-10	
Fe-59	1.8E-09	
Co-58	7.4E-10	
Co-60	3.4E-09	
Ni-63	1.5E-10	
Zn-65	3.9E-09	
Rb-86	2.8E-09	
Sr-89	2.6E-09	
Sr-90	2.8E-08	
Y-90	2.7E-09	
Y-91	2.4E-09	
Nb-95	5.8E-10	
Tc-99	6.4E-10	
Ru-103	7.3E-10	
Ru-106	7.0E-09	
Rh-103m	3.8E-12	
Rh-106	0.0E+00	
Ag-110m	2.8E-09	
Cd-113m	2.3E-08	
Cd-115m	3.3E-09	
Sn-119m	3.4E-10	
Sn-123	2.1E-09	
Sn-126	4.7E-09	
Sb-124	2.5E-09	
Sb-125	1.1E-09	
Te-123m	1.4E-09	
Te-125m	8.7E-10	
Te-127	1.7E-10	

核種	単位取込量あたりの 預託実効線量 (Sv/Bq)	備考
Te-127m	2.3E-09	
Te-129	6.3E-11	
Te-129m	3.0E-09	
I-129	1.1E-07	
Cs-134	1.9E-08	
Cs-135	2.0E-09	
Cs-136	3.0E-09	
Cs-137	1.3E-08	
Ba-137m	0.0E+00	
Ba-140	2.6E-09	
Ce-141	7.1E-10	
Ce-144	5.2E-09	
Pr-144	5.0E-11	
Pr-144m	0.0E+00	
Pm-146	9.0E-10	
Pm-147	2.6E-10	
Pm-148	2.7E-09	
Pm-148m	1.7E-09	
Sm-151	9.8E-11	
Eu-152	1.4E-09	
Eu-154	2.0E-09	
Eu-155	3.2E-10	
Gd-153	2.7E-10	
Tb-160	1.6E-09	
Pu-238	2.3E-07	
Pu-239	2.5E-07	
Pu-240	2.5E-07	
Pu-241	4.8E-09	
Am-241	2.0E-07	
Am-242m	1.9E-07	
Am-243	2.0E-07	
Cm-242	1.2E-08	

核種	単位取込量あたりの 預託実効線量 (Sv/Bq)	備考
Cm-243	1.5E-07	
Cm-244	1.2E-07	

表 IV-3 吸入による単位取込量当たりの預託実効線量 (IAEA GSR-Part3 より引用)

核種	単位取込量あたりの の預託実効線量 (Sv/Bq)	備考
H-3	1.8E-11	トリチウム蒸気
C-14	5.8E-09	
Mn-54	1.5E-09	
Fe-59	4.0E-09	
Co-58	2.1E-09	
Co-60	3.1E-08	
Ni-63	1.3E-09	
Zn-65	2.2E-09	
Rb-86	9.3E-10	
Sr-89	7.9E-09	
Sr-90	1.6E-07	
Y-90	1.5E-09	
Y-91	8.9E-09	
Nb-95	1.8E-09	
Tc-99	1.3E-08	
Ru-103	3.0E-09	
Ru-106	6.6E-08	
Rh-103m	2.7E-12	
Rh-106	0.0E+00	
Ag-110m	1.2E-08	
Cd-113m	1.1E-07	
Cd-115m	7.7E-09	
Sn-119m	2.2E-09	
Sn-123	8.1E-09	
Sn-126	2.8E-08	



核種	単位取込量あたりの 預託実効線量 (Sv/Bq)	備考
Sb-124	8.6E-09	
Sb-125	1.2E-08	
Te-123m	5.1E-09	
Te-125m	4.2E-09	
Te-127	1.4E-10	
Te-127m	9.8E-09	
Te-129	3.9E-11	
Te-129m	7.9E-09	
I-129	3.6E-08	
Cs-134	2.0E-08	
Cs-135	8.6E-09	
Cs-136	2.8E-09	
Cs-137	3.9E-08	
Ba-137m	0.0E+00	
Ba-140	5.8E-09	
Ce-141	3.8E-09	
Ce-144	5.3E-08	
Pr-144	1.8E-11	
Pr-144m	0.0E+00	
Pm-146	2.1E-08	
Pm-147	5.0E-09	
Pm-148	2.2E-09	
Pm-148m	5.7E-09	
Sm-151	4.0E-09	
Eu-152	4.2E-08	
Eu-154	5.3E-08	
Eu-155	6.9E-09	
Gd-153	2.1E-09	
Tb-160	7.0E-09	
Pu-238	1.1E-04	
Pu-239	1.2E-04	
Pu-240	1.2E-04	

核種	単位取込量あたりの 預託実効線量 (Sv/Bq)	備考
Pu-241	2.3E-06	
Am-241	9.6E-05	
Am-242m	9.2E-05	
Am-243	9.6E-05	
Cm-242	5.9E-06	
Cm-243	6.9E-05	
Cm-244	5.7E-05	

表 IV-4 皮膚等価線量換算係数 (β及びγ放出核種)

核種	皮膚等価線量 換算係数 ((Sv/年)/(Bq/cm <sup>2</sup> ))	備考
H-3	0.0E+00	
C-14	7.9E-03	
Mn-54	5.3E-04	
Fe-59	1.8E-02	
Co-58	4.2E-03	
Co-60	1.7E-02	
Ni-63	1.6E-04	
Zn-65	7.7E-04	
Rb-86	2.3E-02	
Sr-89	2.3E-02	
Sr-90	4.5E-02	
Y-90	2.4E-02	
Y-91	2.3E-02	
Nb-95	6.4E-03	
Tc-99	1.4E-02	
Ru-103	1.1E-02	
Ru-106	2.5E-02	
Rh-103m	1.4E-05	
Rh-106	0.0E+00	
Ag-110m	8.5E-03	

核種	皮膚等価線量 換算係数 ((Sv/年)/(Bq/cm <sup>2</sup> ))	備考
Cd-113m	2.0E-02	
Cd-115m	2.3E-02	
Sn-119m	0.0E+00	
Sn-123	0.0E+00	
Sn-126	1.6E-02	
Sb-124	2.2E-02	
Sb-125	1.8E-02	
Te-123m	2.0E-02	
Te-125m	2.6E-02	
Te-127	2.1E-02	
Te-127m	3.7E-02	
Te-129	2.3E-02	
Te-129m	3.7E-02	
I-129	5.8E-03	
Cs-134	1.7E-02	
Cs-135	9.6E-03	
Cs-136	2.1E-02	
Cs-137	2.2E-02	
Ba-137m	0.0E+00	
Ba-140	5.3E-02	
Ce-141	2.5E-02	
Ce-144	3.9E-02	
Pr-144	0.0E+00	
Pr-144m	0.0E+00	
Pm-146	0.0E+00	
Pm-147	1.1E-02	
Pm-148	0.0E+00	
Pm-148m	0.0E+00	
Sm-151	2.5E-04	
Eu-152	1.5E-02	
Eu-154	3.1E-02	
Eu-155	7.6E-03	

核種	皮膚等価線量 換算係数 ((Sv/年)/(Bq/cm <sup>2</sup> ))	備考
Gd-153	3.6E-03	
Tb-160	3.1E-02	
Pu-238	9.5E-04	
Pu-239	1.3E-05	
Pu-240	9.1E-07	
Pu-241	1.4E-08	
Am-241	6.3E-04	
Am-242m	1.7E-02	
Am-243	3.7E-02	
Cm-242	2.1E-05	
Cm-243	1.7E-02	
Cm-244	1.9E-05	

表 IV-5 海産物を多く摂取する個人の摂取量 (g/日)

	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

#### IV-2. 被ばく評価結果

以下の3ケースのソースタームについて、Tecdoc1759の評価手法を用いた評価を行って、報告書の結果と比較を行った。

- i. K4 タンク群（トリチウム以外の63核種の告示濃度比総和 0.29）
- ii. J1-C タンク群（トリチウム以外の63核種の告示濃度比総和 0.35）
- iii. J1-G タンク群（トリチウム以外の63核種の告示濃度比総和 0.22）

比較の結果を、表 IV-6（1）～（3）に示す。

ソースタームに係わらず、いずれの評価結果においても、報告書における海産物摂取、漁網からの被ばく、砂浜からの被ばくを超えるものは無かった。ただし、遊泳中の飲水、海水しぶきの吸入の経路は報告書の海水面などよりも大きいことから、放射線影響評価でも経路として選定することとした。

表 IV-6 (1) K4 タンク群のソースタームによる評価結果の比較

評価ケース		放射線影響評価 報告書 (設計段階)	Tecdoc1759	備考
外部被ばく (mSv/年)	海水面からの被ばく	6.5E-09	評価対象外	
	船体からの被ばく	4.8E-09	評価対象外	
	海中作業における被ばく	4.5E-09	評価対象外	
	砂浜からの被ばく	7.8E-06	4.0E-07	報告書の評価では、保守的な外部被ばく線量換算係数を用いているため保守的な評価となっていると考えている
	漁網からの被ばく	1.6E-06	評価対象外	
内部被ばく (mSv/年) (成人)	海岸堆積物摂取	評価対象外	7.8E-10	
	遊泳中の飲水	3.3E-07	3.3E-07	海域で拡散希釈した ALPS 処理水の組成は希釈前と同じであるため、告示濃度比の大きいトリチウムによる被ばくがほとんどであり、どちらもほぼ同じ結果。
	海岸堆積物飛散吸入	評価対象外	5.1E-12	
	海水噴霧吸入	9.3E-08	7.7E-08	
	海産物摂取	6.1E-05	1.6E-05	報告書の評価では、浮遊粒子や海底土への付着を考慮せず、保守的な海水濃度を用いて海産物の濃度を評価しているため保守的な評価となっていると考えている
皮膚の被ばく (mSv/年)	海底堆積物が皮膚に付いた場合	評価対象外	1.5E-09	
合計 (mSv/年)		7E-05	2E-05	

表 IV-6 (2) J1-C タンク群のソースタームによる評価結果の比較

評価ケース		放射線影響評価 報告書 (設計段階)	Tecdoc1759	備考
外部被ばく (mSv/年)	海水面からの被ばく	1.7E-08	評価対象外	
	船体からの被ばく	1.2E-08	評価対象外	
	海中作業における被ばく	1.2E-08	評価対象外	
	砂浜からの被ばく	2.1E-05	2.1E-07	報告書の評価では、保守的な外部被ばく線量換算係数を用いているため保守的な評価となっていると考えている
	漁網からの被ばく	4.3E-06	評価対象外	
内部被ばく (mSv/年) (成人)	海岸堆積物摂取	評価対象外	6.6E-10	
	遊泳中の飲水	3.1E-07	3.1E-07	海域で拡散希釈した ALPS 処理水の組成は希釈前と同じであるため、告示濃度比の大きいトリチウムによる被ばくがほとんどであり、どちらもほぼ同じ結果。
	海岸堆積物飛散吸入	評価対象外	4.2E-11	
	海水噴霧吸入	2.0E-07	7.5E-08	
	海産物摂取	1.1E-04	2.9E-06	報告書の評価では、浮遊粒子や海底土への付着を考慮せず、保守的な海水濃度を用いて海産物の濃度を評価しているため保守的な評価となっていると考えている
皮膚の被ばく (mSv/年)	海底堆積物が皮膚に付いた場合	評価対象外	2.2E-09	
合計 (mSv/年)		1E-04	3E-06	

表 IV-6 (3) J1-G タンク群のソースタームによる評価結果の比較

評価ケース		放射線影響評価 報告書 (設計段階)	Tecdoc1759	備考
外部被ばく (mSv/年)	海水面からの被ばく	4.7E-08	評価対象外	
	船体からの被ばく	3.3E-08	評価対象外	
	海中作業における被ばく	3.2E-08	評価対象外	
	砂浜からの被ばく	5.6E-05	2.1E-07	報告書の評価では、保守的な外部被ばく線量換算係数を用いているため保守的な評価となっていると考えている
	漁網からの被ばく	1.2E-05	評価対象外	
内部被ばく (mSv/年) (成人)	海岸堆積物摂取	評価対象外	6.6E-10	
	遊泳中の飲水	3.2E-07	3.1E-07	海域で拡散希釈した ALPS 処理水の組成は希釈前と同じであるため、告示濃度比の大きいトリチウムによる被ばくがほとんどであり、どちらもほぼ同じ結果。
	海岸堆積物飛散吸入	評価対象外	4.2E-11	
	海水噴霧吸入	4.0E-07	7.5E-08	
	海産物摂取	3.0E-04	4.6E-06	報告書の評価では、浮遊粒子や海底土への付着を考慮せず、保守的な海水濃度を用いて海産物の濃度を評価しているため保守的な評価となっていると考えている
皮膚の被ばく (mSv/年)	海底堆積物が皮膚に付いた場合	評価対象外	5.2E-09	
合計 (mSv/年)		4E-04	5E-06	



参照文献

- [IV1] 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", 2015
- [IV2] EPA, FEDERAL GUIDANCE REPORT NO.15 "EXTERNAL EXPOSURE TO RADIONUCLIDES IN AIR, WATER AND SOIL", 2019
- [IV3] IAEA, General Safety Requirements Part 3 "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards", 2014
- [IV4] IAEA, Safety Report Series No. 44 "Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance", 2005

## 添付V 拡散シミュレーションの妥当性について

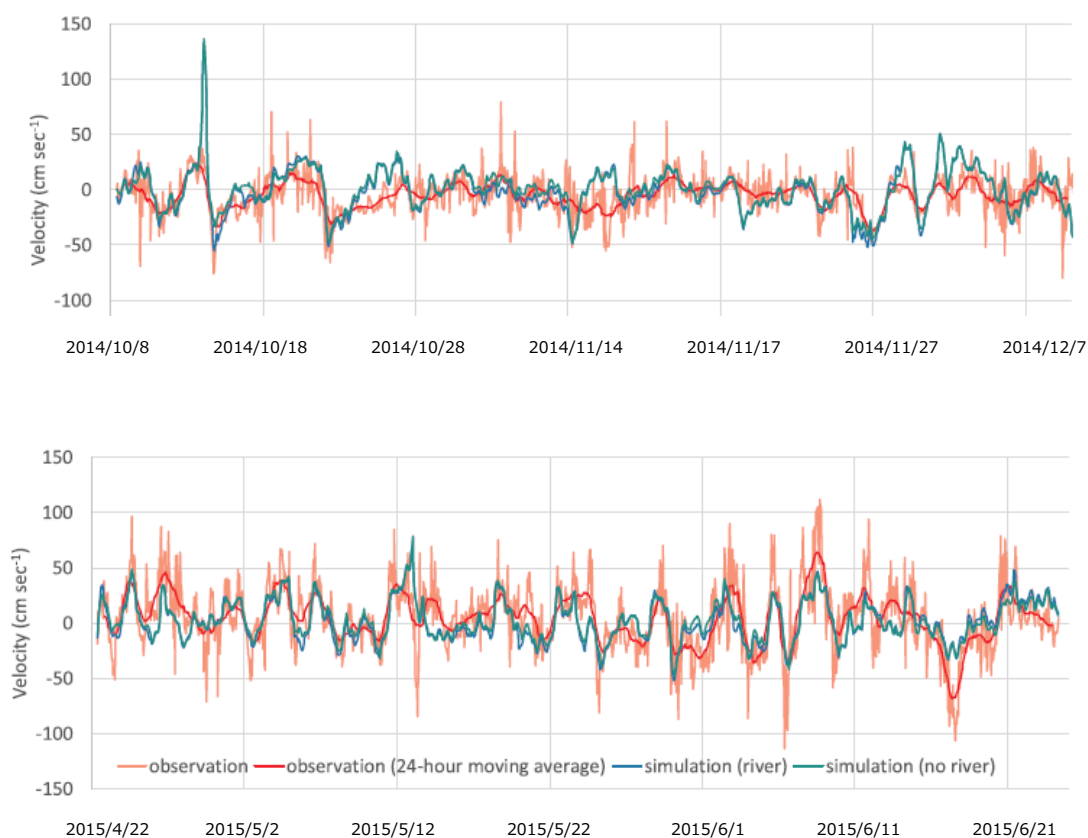
放射線影響評価報告書（以下、報告書）において、トリチウムの移流、拡散の計算に使用したシミュレーションモデルは、福島第一原子力発電所事故によって海域に漏えいしたセシウムの拡散について、再現計算に使用したモデルである。

ここでは、様々な観点から拡散シミュレーションの妥当性について記述する。

### V-1. 流速の再現性について

報告書に記載したとおり、本シミュレーションは、気象、海象の実データを使用し、福島第一原子力発電所から流出したセシウムの再現計算を行い、実際の海域モニタリングデータとの比較によって再現性を確認している。

図V-1は、2014年10月8日から12月10日までと2015年4月22日から6月25日まで、1F原子力発電所の南約5km、沖合約2.8kmの地点（37°22.6' N, 141°3.7'E）で、音響ドップラー流探傷器（ADCP；600 Hz, RDI）により測定した流速と、シミュレーションで再現計算した流速の南北成分の比較である[V1]。河川流量の考慮有無に係わらず、シミュレーションと実測値は良く一致している。



図V-1 福島第一原子力発電所付近で測定した流速とシミュレーションによる再現計算の比較

## V-2. セシウム濃度の再現性について

2013年から2016年まで、東京電力が実施した福島県沿岸の海水モニタリングで得られた表層海水のセシウム 137 濃度[V2]の年間平均値と、シミュレーションにより再現計算を行った表層の年間平均濃度分布とを比較した結果を図 V-2 に示した。○がモニタリング地点、色が実測した Cs-137 濃度であり、コンター図はシミュレーションの計算結果である。また、同様に原子力規制庁による沖合海域の海水モニタリングで得られた表層海水のセシウム 137 濃度[V2]の年間平均値との比較を図 V-3 に示した。発電所周辺沿岸部の濃度の高い状況や、全体的な濃度の傾向が良く再現されている。

さらに、これらのデータを散布図にまとめたものを図 V-4 に示した。濃度の高い右上の領域（青い破線）では、実測値とシミュレーションの濃度が概ね一致している。

一方、濃度が低い左下の領域（赤い破線）では、実測値がシミュレーションの濃度よりも高い傾向となっている。濃度の低い領域で実測値の方が高い濃度となっているのは、河川からのセシウムの供給や北太平洋の海流によるセシウムの再循環による流入など、シミュレーションに反映しきれていないソースの存在が原因として考えられるとしている。

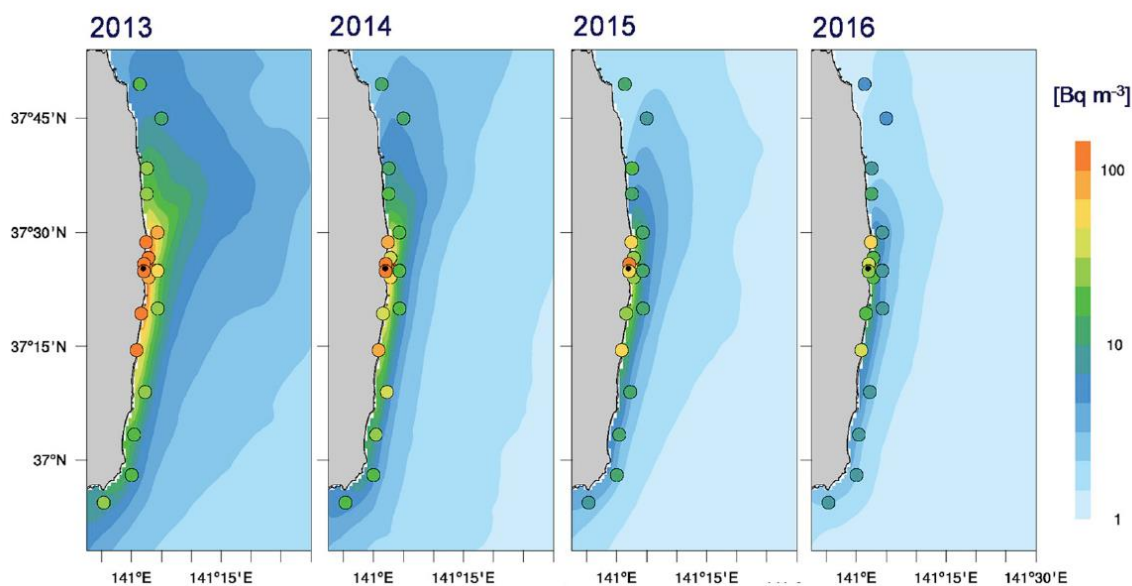


図 V-2 福島第一原子力発電所周辺海域の沿岸におけるセシウム 137 濃度の実測値とシミュレーションの比較

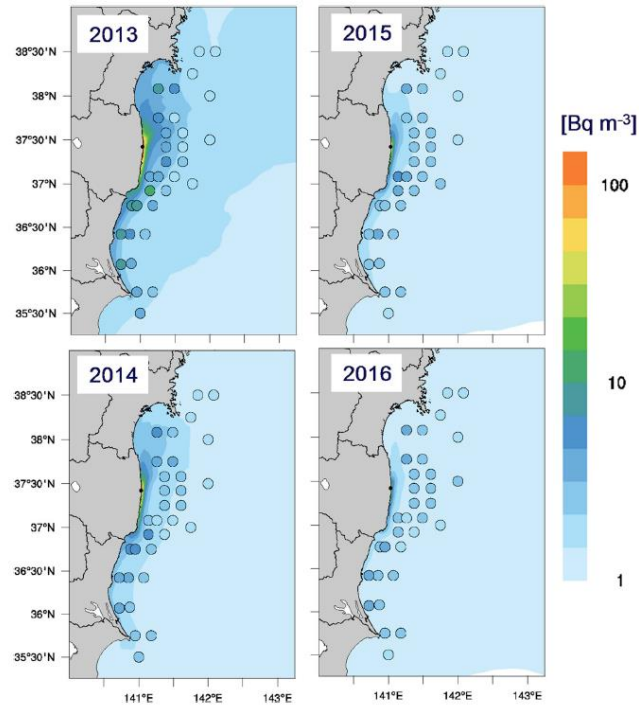


図 V-3 福島第一原子力発電所周辺海域の沖合海域におけるセシウム 137 濃度の実測値とシミュレーションの比較

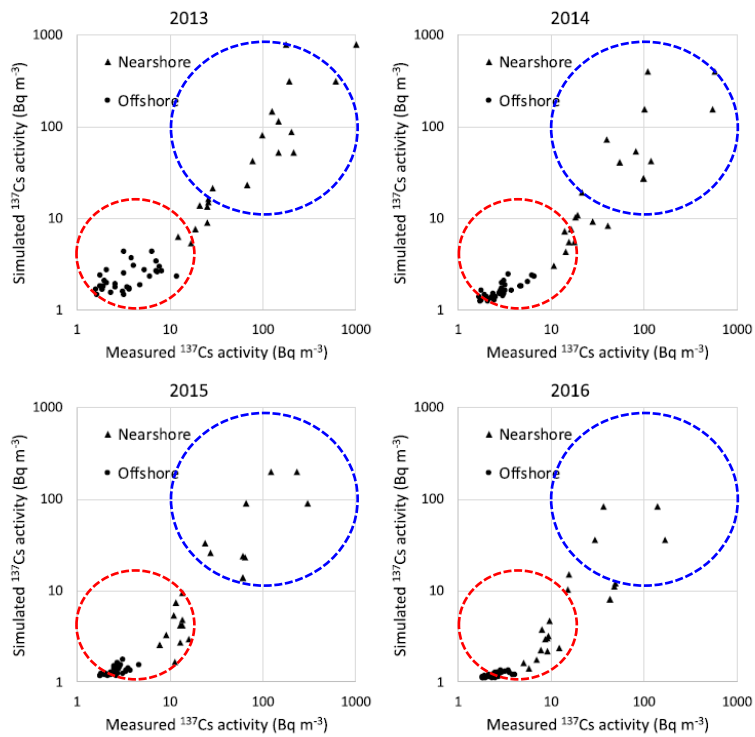


図 V-4 福島第一原子力発電所周辺海域における Cs-137 濃度の実測とシミュレーションの比較（青が主に沿岸、赤が主に沖合）

### V-3. 放水口周辺の濃度分布について

報告書で使用したトリチウムのシミュレーションモデルは、広域における移流、拡散の状況を再現するモデルであり、放水口付近の物理的な流れは再現していない。そのため、上方に向けて放水するにもかかわらず、放水口に近い海底付近の濃度が周囲よりも高くなっているものの、放水口直上の濃度はあまり上昇していない。

一方、実際の放出の際には、上昇する際に周囲の海水を巻き込みながら、混合希釈が進むものと考えられる。また、放出される ALPS 処理水はあらかじめ海水で 100 倍以上に希釈されることから塩分や比重は周囲の海水と変わらず、放水口付近の濃度分布に若干の違いはあっても、放水口から離れた場所での拡散は、シミュレーションの結果と大きな違いは生じないものと考えられる。

報告書の添付 IV「放水位置による拡散範囲の違いについて」では、沖合 1km から放水する場合と 5,6 号機放水口から放水した場合のトリチウムの拡散シミュレーション結果の比較を示している。

図 V-5、V-6 に示すとおり、放水口周辺の濃度分布が異なっても、周辺海域での拡散に大きな違いは見られない。

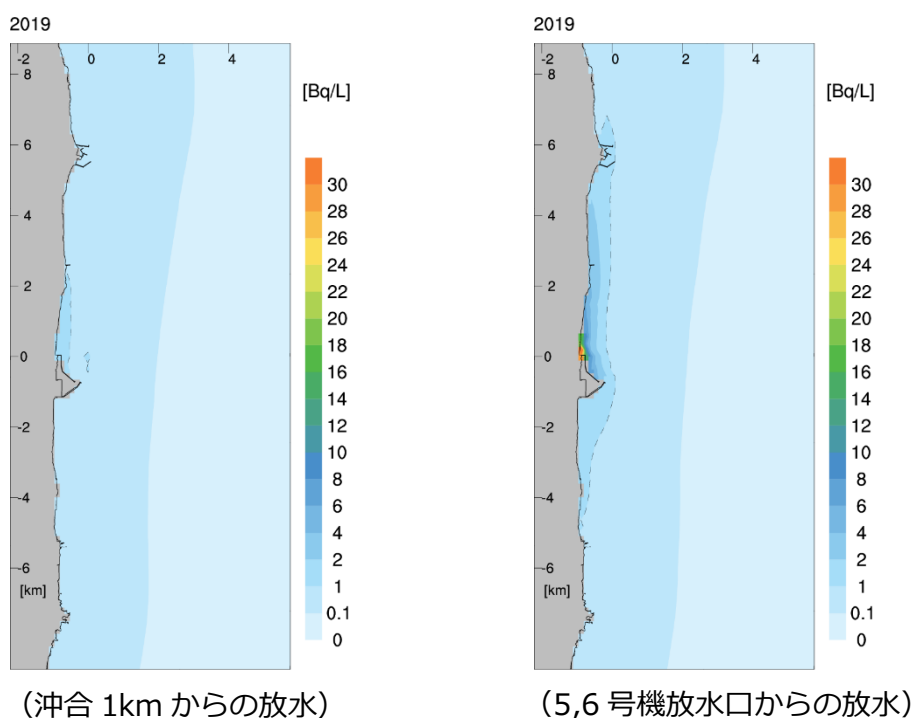


図 V-5 放水位置の違いによる海水のトリチウム年間平均濃度分布図の比較（海表面）

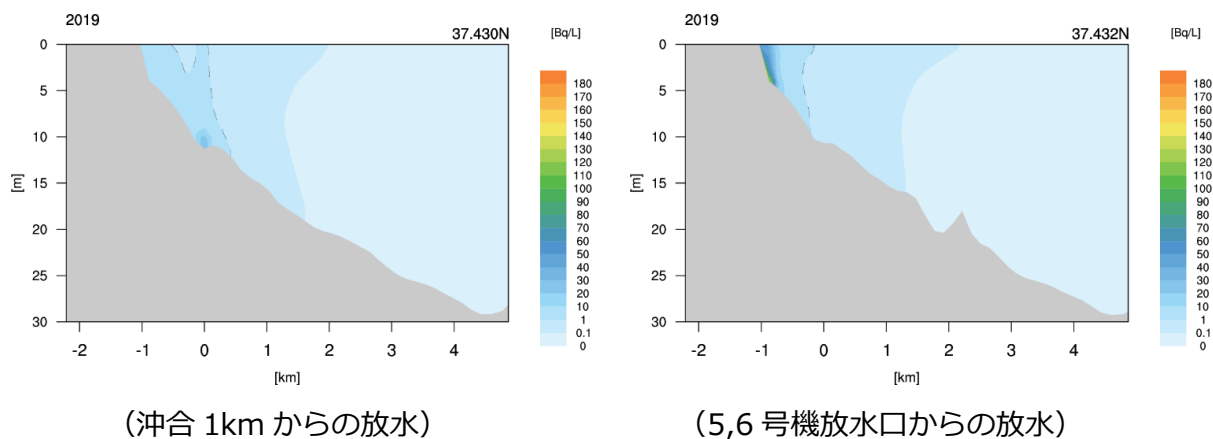


図 V-6 放水位置の違いによる海水のトリチウム年間平均濃度分布図の比較（断面図）

また、上方への流れを考慮しない条件でも、シミュレーションによる計算結果から算出した 10km×10km の平均濃度が、放水口付近と逆に上層が高い濃度となっているのは、図 V-7～10 に示すとおり、周辺海域が沖合に向かって緩やかに深くなっており、沖合海底では表層と比べて濃度低下が著しいためである。

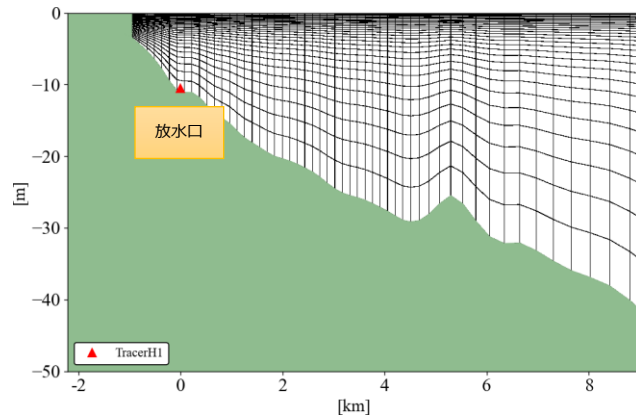


図 V-7 沖合 10km 付近までの海底断面図

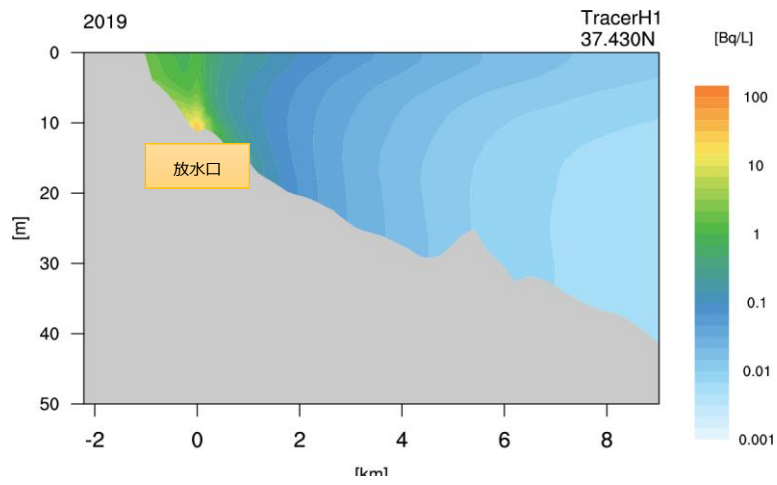


図 V-8 沖合 10km 付近までのトリチウム年平均濃度分布断面図

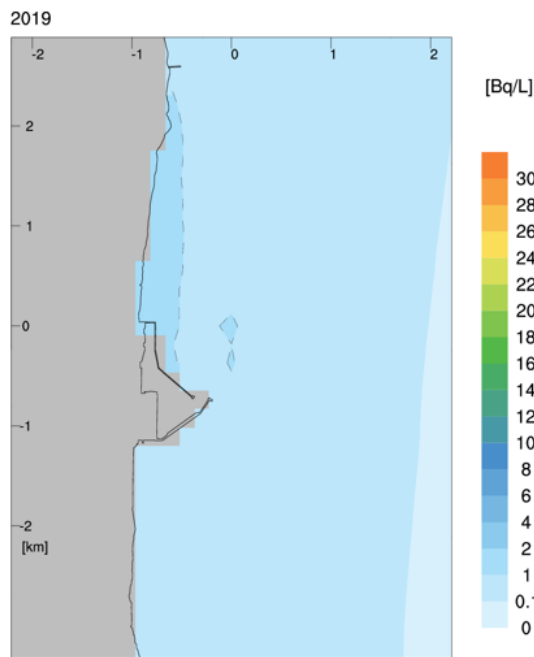


図 V-9 沖合 3km 付近までの海表面のトリチウム年間平均濃度分布図

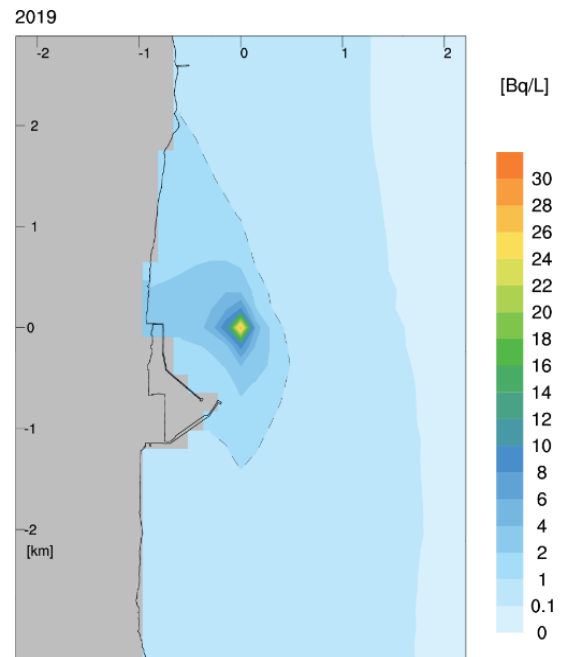


図 V-10 沖合 3km 付近までの海底のトリチウム年間平均濃度分布図

#### V-4. 計算期間について

6-1-3 に示したとおり、年変動を確認するため、7年間のシミュレーション計算を実施した。計算は各年毎に実施したが、図V-11 に示すとおり、年間を通じて濃度の変化は激しく、1年間の中で蓄積傾向なども見られないため、各年毎の計算であっても長期間の放出による影響評価に使用する上で問題は無いと考えている。

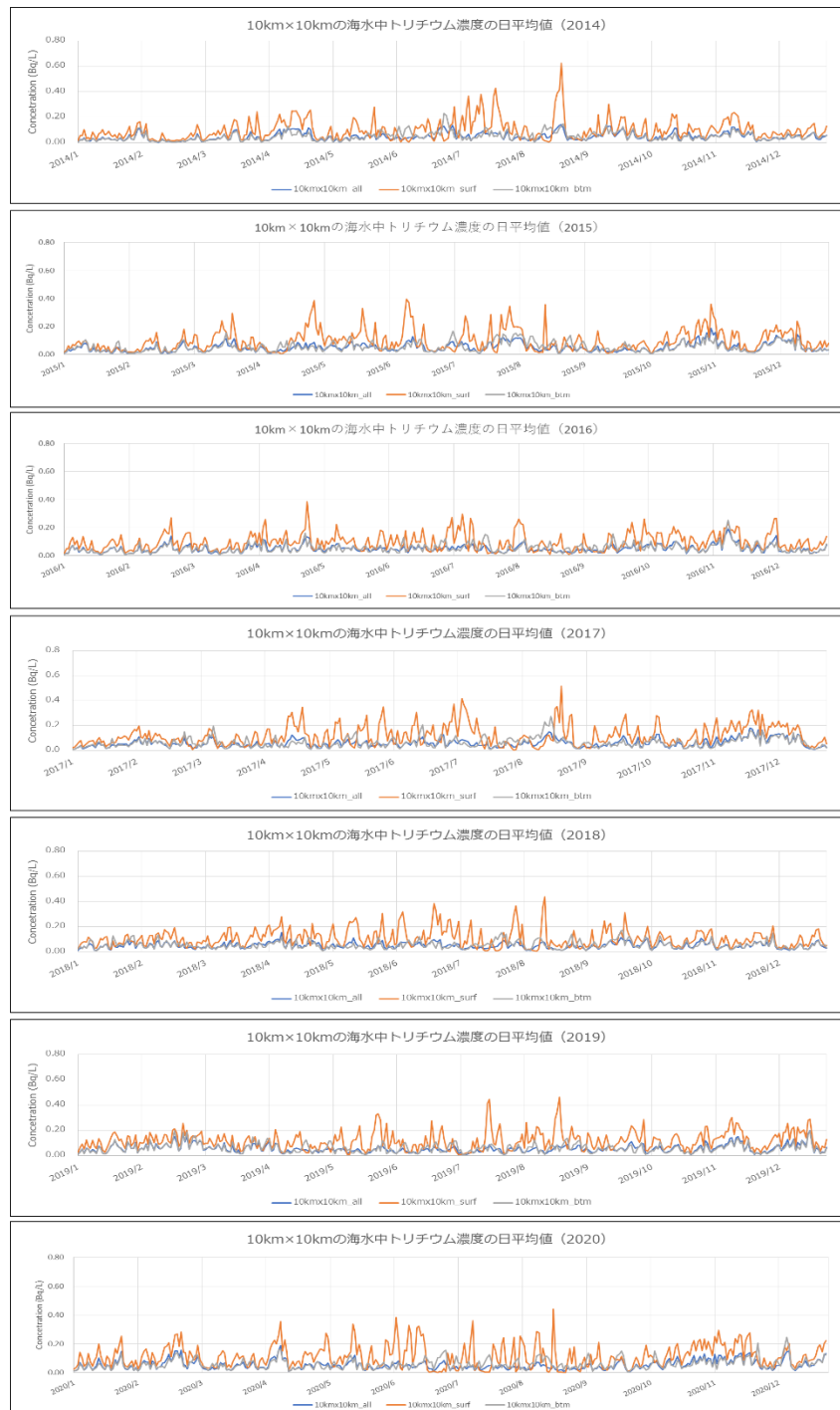


図 V-11 各年の日平均濃度の変動



## V-5. 計算領域の妥当性について

報告書に使用したシミュレーションの計算領域は、南北約 490km、東西約 270km である。2014 年から 2020 年の気象海象データで計算した年平均濃度から、領域境界部の最大値及び位置について、表 V-1 に示した。また、同じく日平均濃度から、領域境界部の年毎の最大値及び位置、発生日について、表 V-2 に示した。領域全体のトリチウム濃度の年間平均濃度分布図（1E-05Bq/L まで図示した結果）を図 V-12 に示す。

計算範囲の境界における年間平均濃度の最大値は 1.1E-04～2.6E-04Bq/L、日平均値の年間最大値は 5.3E-03～1.4E-02Bq/L であり、全て東側であったが、日本周辺海域における海水中トリチウム濃度（約 1.0E-1Bq/L）[V3]と比較して十分低い。

また、発電所周辺 10km×10km の年間平均濃度から計算した被ばく評価結果は、一般公衆の線量限度 1mSv/年はもとより、線量拘束値 0.05mSv/年と比べても大幅に低い濃度であり、計算領域から外側において、放射線影響を評価する必要は無いものとする。

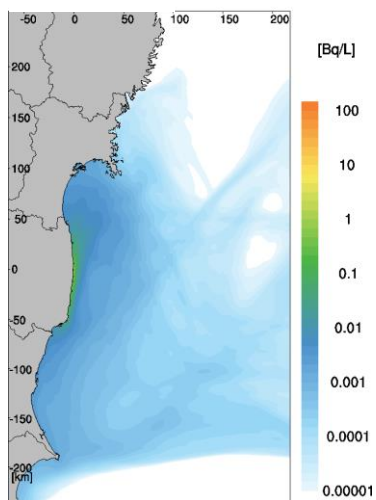
**表 V-1 各年のモデル境界（南北、東）における年平均濃度の最大値と位置**

年	濃度 (Bq/L)	座標		
		東西 (0: 西境界, 460: 東境界)	南北 (0: 南境界, 658: 北境界)	深さ (0: 最底層, 29: 最表層)
2014	1.1E-04	460 (東境界)	80	23
2015	2.6E-04	460 (東境界)	145	29
2016	1.4E-04	460 (東境界)	318	25
2017	2.4E-04	460 (東境界)	224	23
2018	1.9E-04	460 (東境界)	150	29
2019	1.6E-04	460 (東境界)	181	28
2020	1.9E-04	460 (東境界)	232	28

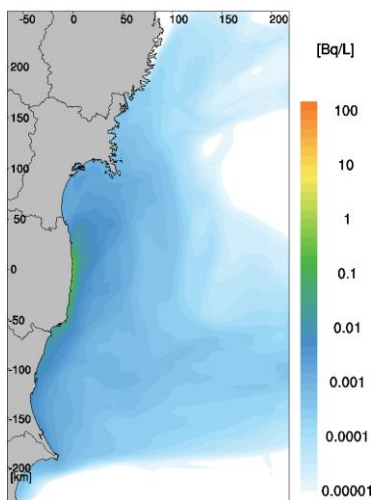
**表 V-2 各年のモデル境界（南北、東）における日平均濃度の最大値と位置、発生日**

発生日	濃度 (Bq/L)	座標		
		東西 (0: 西境界, 460: 東境界)	南北 (0: 南境界, 658: 北境界)	深さ (0: 最底層, 29: 最表層)
2014/9/21	6.7E-03	460 (東境界)	198	19
2015/8/2	7.2E-03	460 (東境界)	158	25
2016/8/6	1.4E-02	460 (東境界)	341	28
2017/7/28	6.5E-03	460 (東境界)	252	29
2018/8/15	5.3E-03	460 (東境界)	215	21
2019/8/1	1.0E-02	460 (東境界)	177	27
2020/5/30	1.1E-02	460 (東境界)	234	28

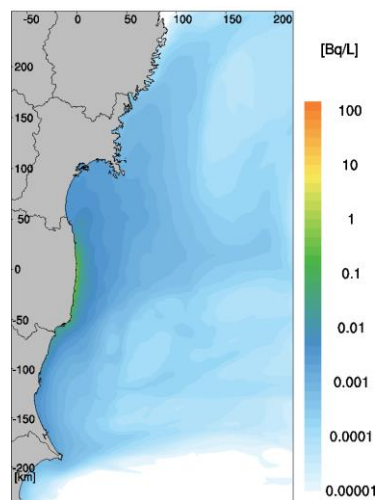
2014年



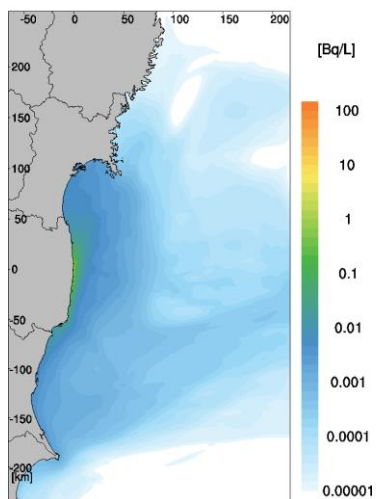
2015年



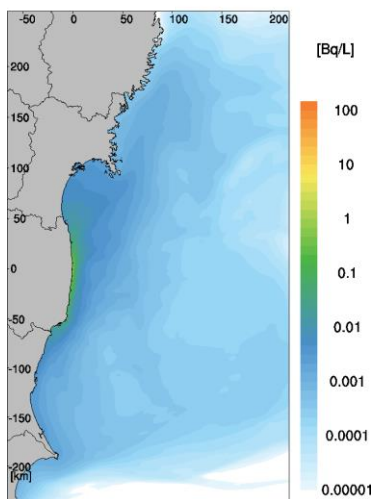
2016年



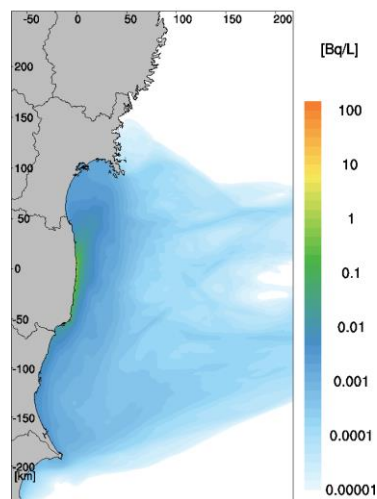
2017年



2018年



2019年



2020年

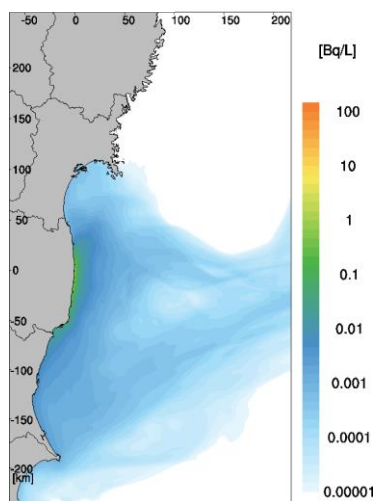


図 V-12 トリチウム濃度の年間平均濃度分布図 (1E-05Bq/L まで図示した結果)

## 参照文献

- [V1] D.Tsumune, T.Tsubono, K.Misumi, Y.Tateda, Y.Toyoda, Y.Onda, and M.Aoyama, "Impacts of direct release and river discharge on oceanic  $^{137}\text{Cs}$  derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident", 2020
- [V2] <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/428/list-1.html>
- [V3] 公益財団法人海洋生物環境研究所“令和 2 年度原子力施設等防災対策等委託費（海洋環境における放射能調査及び総合評価）事業調査報告書”, 2021 年 3 月

## 添付 VI 放水位置による拡散範囲の違いについて

ALPS 処理水の放出方法の検討にあたり、当初は 5,6 号機が通常運転していた時と同様に、5,6 号機放水口から放水する案を検討していた。本計画で検討中の放水位置と、5,6 号機放水口の位置を図 VI-1 に示す。

放水位置の違いによる拡散シミュレーション結果の比較を図 VI-2~4 に示す。0.1Bq/L の濃度範囲については大きな違いはみられないが、発電所周辺の濃度は沖合 1km からの放水の方が低くなっている。

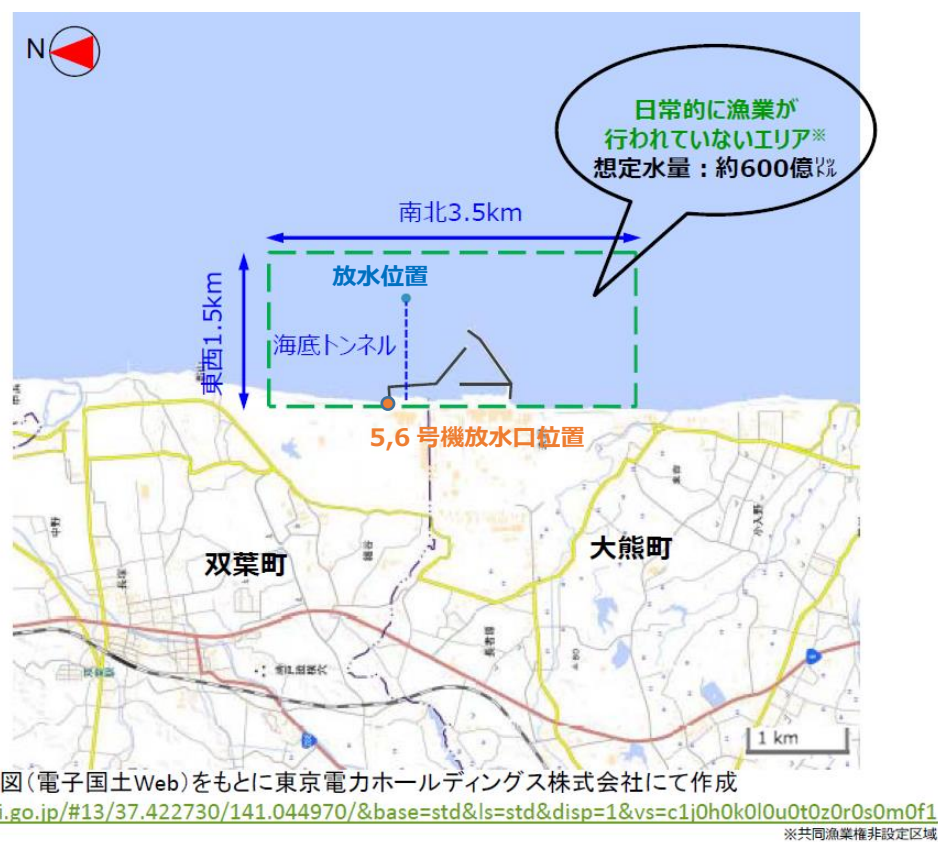
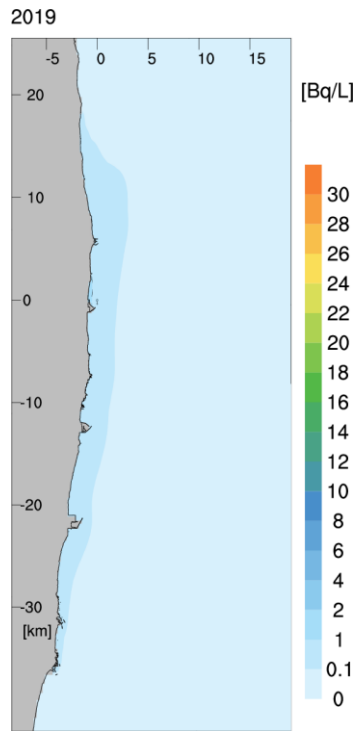
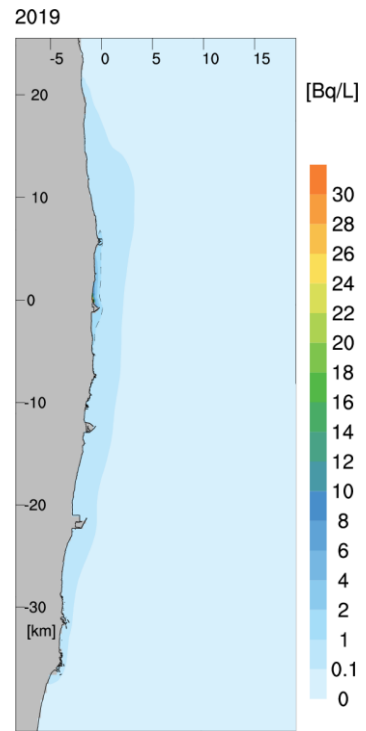


図 VI-1 現在の計画における放出位置と 5, 6 号機放水口の位置

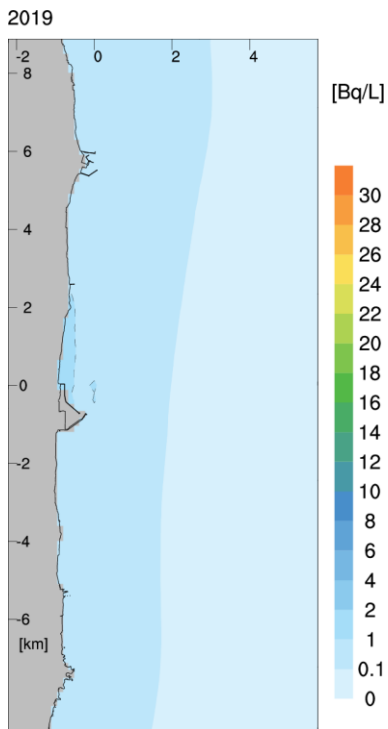


(沖合 1km からの放水)

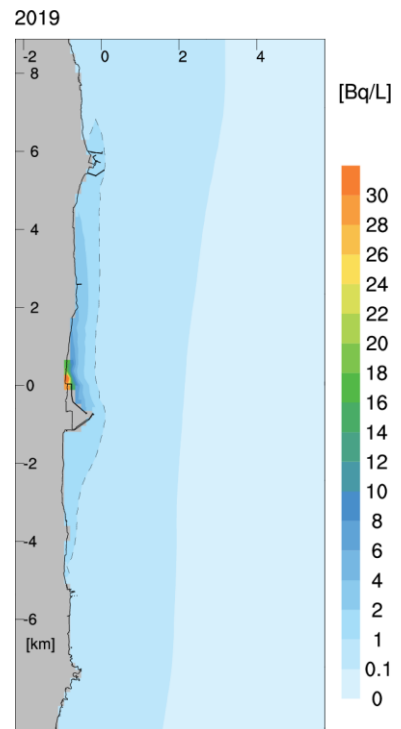


(5,6号機放水口からの放水)

図 VI-2 放水位置の違いによる海表面の年間平均濃度分布図の比較 (広域)



(沖合 1km からの放水)



(5,6号機放水口からの放水)

図 VI-3 放水位置の違いによる海表面の年間平均濃度分布図の比較 (拡大図)

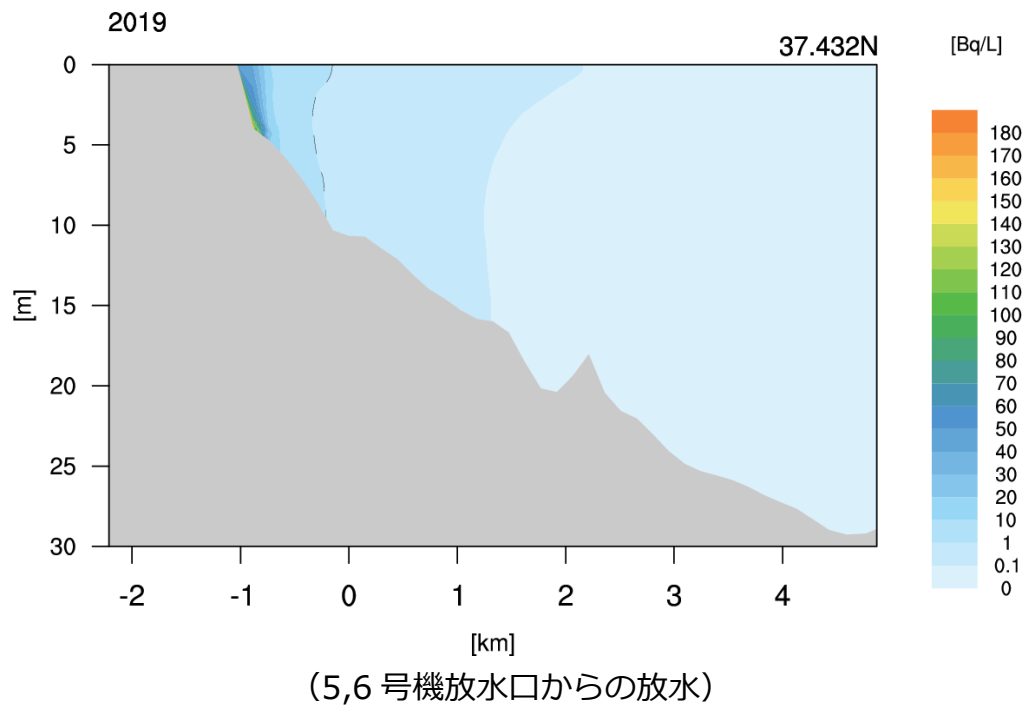
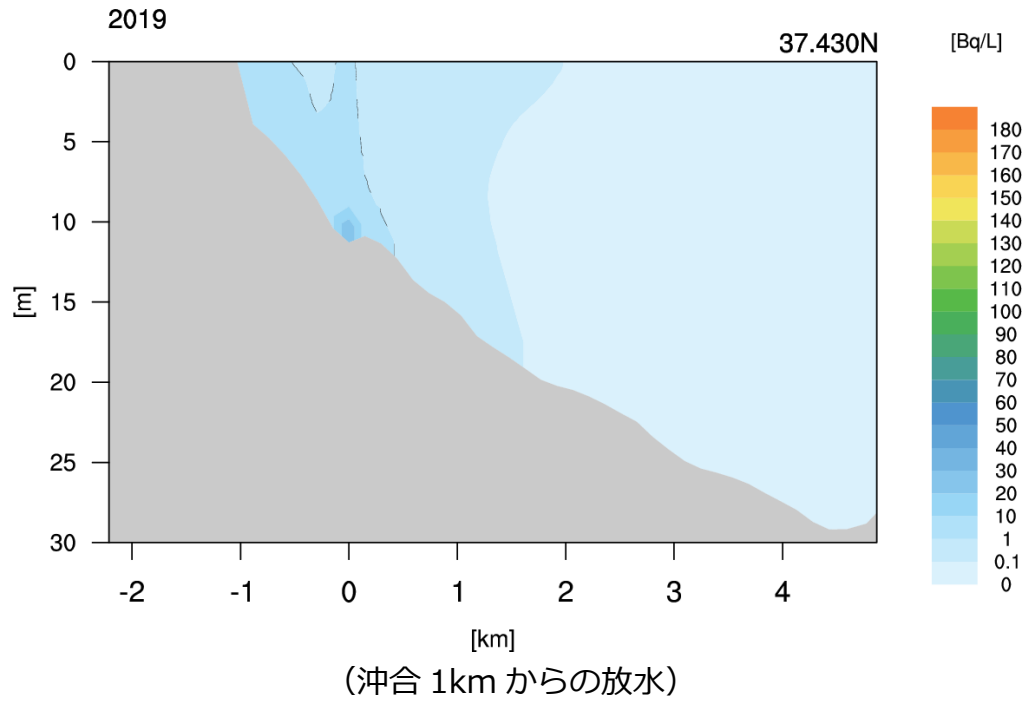


図 VI-4 放水位置の違いによる海表面の年間平均濃度分布図の比較 (断面図)

## 添付 VII 実測値によるソースタームにおける不検出核種の寄与について

本評価の対象とした 64 核種には、これまでの分析評価において一度も検出されたことのない不検出核種が多く含まれている。本文 6-1-1.(1)に示したとおり、実測値によるソースタームにおいては、検出下限未満の核種についても、保守的に検出下限値で含まれているものとして年間放出量を設定しているが、一度も検出されたことのない核種については、半減期等も考慮すれば実際は検出下限値よりもずっと低い濃度であるものも多いと推定される。

ここでは、被ばく評価の結果における保守性を確認するため、核種毎の被ばく評価結果を検出核種と不検出核種に分けて集計を行った。

結果を表 VII-1～4 に示す。

いずれのケースにおいても、不検出核種による寄与は大きく、評価結果は大きな保守性を含んでいるものと考えられる。

**表 VII-1 検出核種と不検出核種の寄与（人の被ばく）**

評価 ケース	ソース ターム	(1) 実測値によるソースターム					
		i. K4 タンク群		ii. J1-C タンク群		iii. J1-G タンク群	
	海産物 摂取量	平均的	多い	平均的	多い	平均的	多い
被ばく* (mSv/年)	検出核種	5.7E-06	2.0E-05	1.4E-06	4.0E-06	2.2E-06	6.5E-06
	不検出核種	1.9E-05	5.1E-05	5.2E-05	1.3E-04	1.5E-04	3.6E-04
	合計	2.5E-05	7.1E-05	5.4E-05	1.3E-04	1.5E-04	6.5E-06
合計に占める 不検出核種の割合		77%	71%	97%	97%	98%	98%

\* 被ばくは外部被ばくと内部被ばくの合計

**表 VII-2 検出核種と不検出核種の寄与（環境防護、K4 タンク群）**

評価ケース		K4 タンク群		
		扁平魚	カニ	褐藻
被ばく (mGy/日)	検出核種	7.5E-07	7.6E-07	8.3E-07
	不検出核種	1.7E-05	1.7E-05	1.8E-05
	合計	1.7E-05	1.7E-05	1.9E-05
合計に占める 不検出核種の割合		96%	96%	96%

**表 VII-3 検出核種と不検出核種の寄与（環境防護、J1-C タンク群）**

評価ケース		J1-C タンク群		
		扁平魚	カニ	褐藻
被ばく (mGy/日)	検出核種	1.4E-07	1.4E-07	1.5E-07
	不検出核種	2.2E-05	2.2E-05	2.3E-05
	合計	2.2E-05	2.2E-05	2.3E-05
合計に占める 不検出核種の割合		99%	99%	99%

**表 VII-4 検出核種と不検出核種の寄与（環境防護、J1-G タンク群）**

評価ケース		J1-G タンク群		
		扁平魚	カニ	褐藻
被ばく (mGy/日)	検出核種	2.9E-07	2.8E-07	3.0E-07
	不検出核種	5.6E-05	5.5E-05	5.8E-05
	合計	5.6E-05	5.5E-05	5.9E-05
合計に占める 不検出核種の割合		99%	99%	99%



## 添付 VIII 外部被ばく線量換算係数の保守性について

外部被ばくの線量評価に使用した線量換算係数は、廃止措置工事環境影響評価ハンドブック（以下、廃止措置ハンドブック）より引用したものであるが、 $\gamma$ 線のみを対象としていることや、64核種のうち一部の換算係数が用意されていないことなどの欠点もある。用意されていない換算係数には、 $\beta\gamma$ 核種には Co-60、 $\alpha$ 核種には Am-241 とそれぞれ最も保守的な換算係数を引用することで保守性を確保しているが、確認のため、海外で作成された外部被ばくの線量換算係数を用いて比較を行った。

比較の対象としては、米国の環境保護庁（U.S. Environmental Protection Agency）が、米国民の放射線防護のために提供している Federal Guidance Report No.15, “External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil”（Environmental Protection Agency, 2019 以下、FGR15）[VIII1]を使用した。FGR15には、地表面、土壌、大気、水中の放射性物質から人が受ける外部被ばくを計算するための線量換算係数が示されており、対象核種には ALPS 処理水の評価対象 64 核種が全て含まれていることから、本文書の線量換算係数を使用した評価を試みた。

### VIII-1. 評価方法

報告書本文にて評価した被ばく評価方法と同じとし、線量換算係数のみを入れ替えるものとする。ただし、漁網に付着した放射性物質からの外部被ばくについては、FGR15に適切な線量換算係数がないため比較対象外とした。以下に被ばく経路毎の FGR15 の評価モデル及び使用したパラメータを示す。

#### (1) 海上作業における海水面からの放射線による外部被ばく

海水からの放射線による実効線量換算係数は、FGR15 の Table 4-7. Reference person effective dose rate coefficients for water immersion. に示されている水中への浸漬における外部線量換算係数に、上方に線源（海水）が無い事を考慮した低減係数 0.5 を掛け合わせた（表 VIII-1）。図 VIII--1 に評価モデルのイメージ図を示す。船体による遮へいは安全側に無視した。

海水面からの放射線による実効線量  $D_1$ (mSv/年)の計算式を式(1)に示す。

$$D_1 = 1000 \cdot 1000 \cdot 3600 \cdot \sum_i (K_1)_i \cdot (x_1)_i \cdot t_1 \quad (1)$$

ここで、

$(K_1)_i$  は水中への浸漬における核種  $i$  からの放射線による実効線量換算係数  
((Sv/s)/(Bq/m<sup>3</sup>))

$(x_1)_i$  は核種  $i$  の海水中濃度(Bq/L)

$t_1$  は年間の被ばく時間(h/年)

1000 は Sv から mSv への単位変換の係数

1000 は海水中濃度の単位変換 (Bq/L から Bq/m<sup>3</sup>) の係数

3600 は年間の被ばく時間の単位変換 ((h/年)から秒(s/年)) の係数

である。

評価地点、評価に使用する海水中放射性物質濃度は、本文同様、周辺 10km×10km 圏内の海表面（最上層の）の年間平均濃度とした。

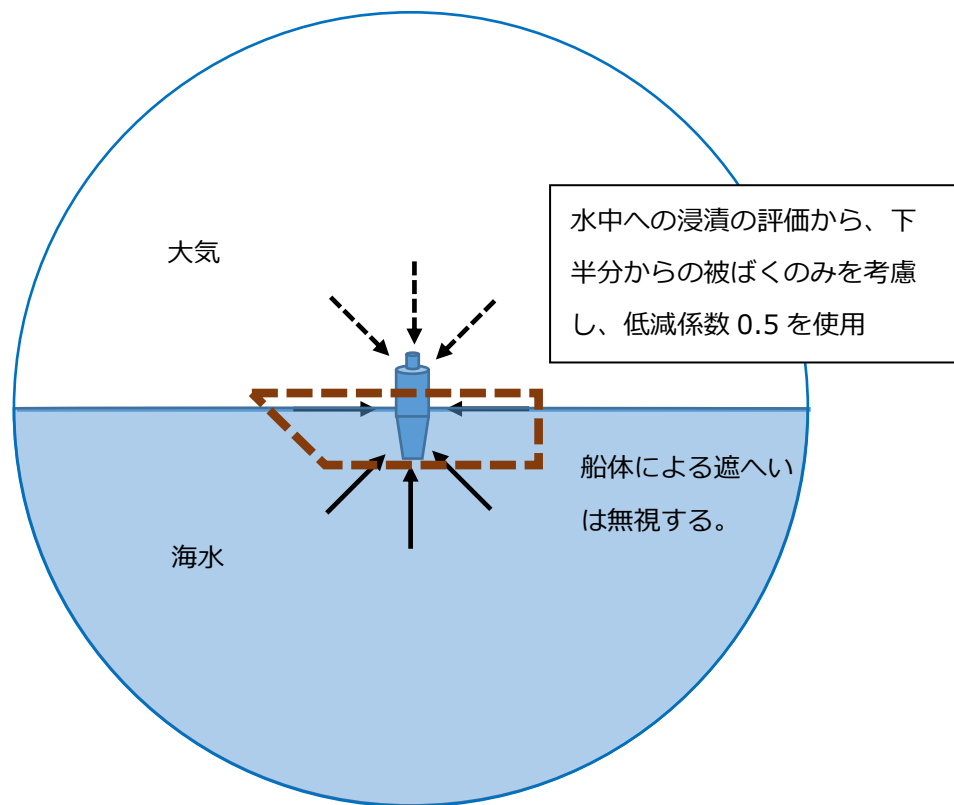


図 VIII-1 海上作業における海水中の放射性物質からの被ばく評価モデルの概念図

(2) 海上作業における船体に付着した放射性物質からの外部被ばく

海上作業時に、海水から船体に移行した放射性物質から受ける外部放射線被ばくについて評価を行う。海水から船体に移行した放射性物質からの放射線による実効線量換算係数は、FGR15 の Table 4-1. Reference person effective dose rate coefficients for ground surface. に示されている地表面からの外部線量換算係数を使用した。(表 VIII-2)。図 J-2 に評価モデルのイメージ図を示す。

船体に付着した放射性物質による実効線量  $D_2$ (mSv/年)の計算式を式(2)、(3)に示す。

$$D_2 = 1000 \cdot 3600 \cdot \sum_i (K_2)_i \cdot (S_2)_i \cdot t_2 \quad (2)$$

$$(S_2)_i = (F_2)_i \cdot (x_2)_i \quad (3)$$

ここで、

$(K_2)_i$  は核種  $i$  の船体からの放射線による実効線量換算係数((Sv/s)/(Bq/m<sup>2</sup>))

$(S_2)_i$  は核種  $i$  の船体における汚染密度(Bq/m<sup>2</sup>)

$t_2$  は年間の被ばく時間(h/年)

$(F_2)_i$  は核種  $i$  の海水から船体への移行係数((Bq/m<sup>2</sup>)/(Bq/L))

$(x_2)_i$  は核種  $i$  の評価地点での海水中濃度(Bq/L)

1000 は Sv から mSv への単位変換の係数

3600 は年間の被ばく時間の単位変換 ((h/年)から秒(s/年)) の係数

である。

船体への移行係数は、本文同様、再処理事業指定申請書(日本原燃、1989) [12]より  $100((\text{Bq}/\text{m}^2)/(\text{Bq}/\text{L}))$ とした。

評価地点、評価に使用する海水中放射性物質濃度は、本文同様、周辺 10km×10km 圏内の海表面(最上層の)の年間平均濃度とした。

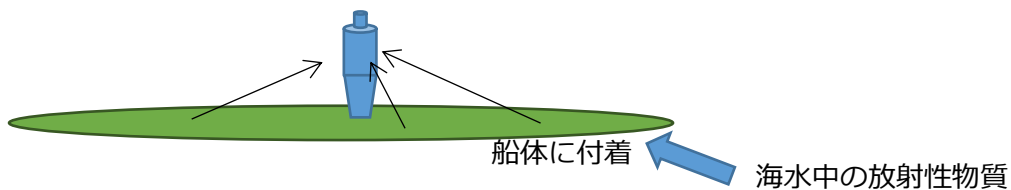


図 VIII-2 海上作業における船体に付着した放射性物質からの被ばく評価モデルの概念図

### (3) 遊泳、海中作業における外部被ばく

遊泳、海中作業時に、周囲の海水中の放射性物質から受ける放射線による外部被ばくについて評価を行う。海水中の放射性物質からの放射線による実効線量換算係数は、FGR15のTable 4-7. Reference person effective dose rate coefficients for water immersion. に示されている水中への浸漬における外部線量換算係数を使用した（表VIII-3）。図VIII-3に評価モデルのイメージ図を示す。

遊泳、海中作業時の海水からの放射線による実効線量  $D_3$ (mSv/年)の計算式を式(4)に示す。

$$D_3 = 1000 \cdot 1000 \cdot 3600 \cdot \sum_i (K_3)_i \cdot (x_3)_i \cdot t_3 \quad (4)$$

ここで、

$(K_3)_i$  は核種  $i$  の海水からの $\gamma$ 線による実効線量換算係数((Sv/s)/(Bq/m<sup>3</sup>))、

$(x_3)_i$  は核種  $i$  の海水中濃度(Bq/L)

$t_3$  は年間の被ばく時間(h/年)

1000 は Sv から mSv への単位変換の係数

1000 は海水中濃度の単位変換 (Bq/L から Bq/m<sup>3</sup>) の係数

3600 は年間の被ばく時間の単位変換 ((h/年)から秒(s/年)) の係数

である。

評価地点、評価に使用する海水中放射性物質濃度の考え方は、本文同様、発電所北側の避難指示が解除された砂浜付近の海水の平均濃度を使用する。

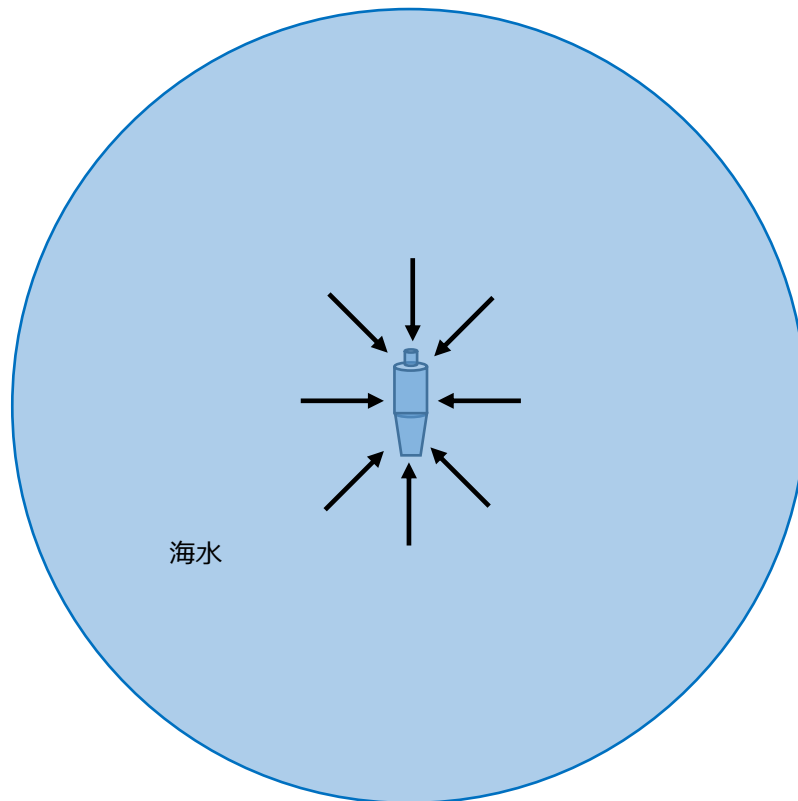


図 VIII-3 海水中の放射性物質からの被ばく評価モデルの概念図

(4) 海浜における外部被ばく

砂浜滞在時に、海水から海浜の砂に移行した放射性物質から受ける外部被ばくについて評価を行う。砂浜の放射性物質からの放射線による実効線量換算係数は、FGR15 の Table 4-5. Reference person effective dose rate coefficients for soil to infinite depth. に示されている土壌中の放射性物質からの被ばくに関する外部線量換算係数を使用した(表 VIII-4)。図 VIII-4 に評価モデルのイメージ図を示す。

海浜砂からのγ線による実効線量  $D_4$ (mSv/年)の計算式を式(5)に示す。

$$D_4 = 1000 \cdot 1600 \cdot 3600 \cdot \sum_i (K_4)_i \cdot (x_4)_i \cdot (F_4)_i \cdot t_4 \quad (5)$$

ここで、

$(K_4)_i$  は核種  $i$  の海浜砂からの放射線による実効線量換算係数((Sv/s)/(Bq/m<sup>3</sup>))

$(x_4)_i$  は核種  $i$  の海水中濃度(Bq/L)

$(F_4)_i$  は核種  $i$  の海水から砂浜への移行係数((Bq/kg)/(Bq/L))

$t_4$  は年間の被ばく時間(h/年)

1000 は Sv から mSv への単位変換の係数

1600 は土壌の放射性物質濃度の単位変換 (Bq/kg から Bq/m<sup>3</sup>) の係数

3600 は年間の被ばく時間の単位変換 ((h/年)から秒(s/年)) の係数

である。

砂浜への核種の移行係数は、本文同様、“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”より、すべての核種について 1,000[(Bq/kg)/(Bq/L)]とした。

評価地点、評価に使用する海水中放射性物質濃度の考え方は、本文同様、発電所北側の避難指示が解除された砂浜付近の海水の平均濃度を使用する。

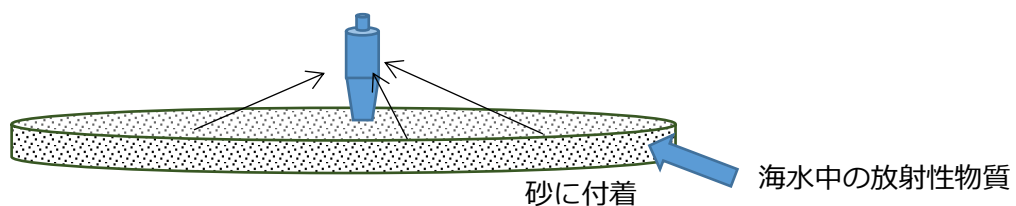


図 VIII-4 海浜砂に付着した放射性物質からの被ばく評価モデルの概念図

#### VIII-2. 被ばく評価の対象となる代表的個人の設定

被ばく評価の対象となる代表的個人の特性は、6-2-5.と同じ以下とした。

- ・ 漁業に年間 120 日 (2880 時間) 従事し、そのうち 80 日 (1920 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。

表 VIII-1 FGR15 を用いた海水面からの放射線による実効線量換算係数

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>3</sup> ))	備考
H-3	3.1E-27	
C-14	1.4E-21	
Mn-54	4.0E-17	
Fe-59	6.0E-17	
Co-58	4.6E-17	
Co-60	1.3E-16	
Ni-63	3.9E-24	
Zn-65	2.9E-17	
Rb-86	4.9E-18	
Sr-89	2.5E-19	
Sr-90	5.4E-20	
Y-90	4.7E-19	
Y-91	4.2E-19	
Nb-95	3.6E-17	
Tc-99	1.5E-20	
Ru-103	2.2E-17	
Ru-106	2.8E-25	
Rh-103m	5.1E-21	
Rh-106	1.0E-17	
Ag-110m	1.3E-16	
Cd-113m	5.2E-20	
Cd-115m	1.9E-18	
Sn-119m	8.3E-20	
Sn-123	5.6E-19	
Sn-126	7.4E-17	子孫核種 Sb-126m を考慮
Sb-124	9.3E-17	
Sb-125	1.9E-17	
Te-123m	5.5E-18	
Te-125m	3.0E-19	
Te-127	2.8E-19	
Te-127m	9.9E-20	

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>3</sup> ))	備考
Te-129	2.9E-18	
Te-129m	1.5E-18	
I-129	2.6E-19	
Cs-134	7.3E-17	
Cs-135	1.2E-20	
Cs-136	1.0E-16	
Cs-137	5.2E-20	
Ba-137m	2.8E-17	
Ba-140	1.2E-16	子孫核種 La-140 を考慮
Ce-141	2.9E-18	
Ce-144	6.8E-19	
Pr-144	2.2E-18	
Pr-144m	2.4E-19	
Pm-146	3.4E-17	
Pm-147	4.7E-21	
Pm-148	2.9E-17	
Pm-148m	9.3E-17	
Sm-151	3.1E-23	
Eu-152	5.6E-17	
Eu-154	6.1E-17	
Eu-155	2.0E-18	
Gd-153	2.8E-18	
Tb-160	5.5E-17	
Pu-238	3.3E-21	
Pu-239	3.6E-21	
Pu-240	3.2E-21	
Pu-241	5.7E-23	
Am-241	6.0E-19	
Am-242m	5.5E-19	子孫核種 Am-242 を考慮
Am-243	8.6E-18	子孫核種 Np-239 を考慮
Cm-242	3.8E-21	
Cm-243	5.0E-18	



核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>3</sup> ))	備考
Cm-244	3.9E-21	

表 VIII-2 FGR15 を用いた船体からの放射線による実効線量換算係数

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>2</sup> ))	備考
H-3	6.7E-22	
C-14	6.1E-19	
Mn-54	5.3E-16	
Fe-59	7.3E-16	
Co-58	6.2E-16	
Co-60	1.5E-15	
Ni-63	8.0E-20	
Zn-65	3.6E-16	
Rb-86	1.6E-16	
Sr-89	8.9E-17	
Sr-90	6.5E-18	
Y-90	1.5E-16	
Y-91	9.4E-17	
Nb-95	4.9E-16	
Tc-99	2.0E-18	
Ru-103	3.2E-16	
Ru-106	1.7E-20	
Rh-103m	4.3E-20	
Rh-106	3.4E-16	
Ag-110m	1.7E-15	
Cd-113m	6.3E-18	
Cd-115m	1.1E-16	
Sn-119m	9.6E-19	
Sn-123	8.1E-17	
Sn-126	1.1E-15	子孫核種 Sb-126m を考慮
Sb-124	1.2E-15	
Sb-125	2.7E-16	

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>2</sup> ))	備考
Te-123m	7.7E-17	
Te-125m	4.1E-18	
Te-127	1.5E-17	
Te-127m	1.7E-18	
Te-129	1.1E-16	
Te-129m	5.1E-17	
I-129	4.4E-18	
Cs-134	1.0E-15	
Cs-135	1.6E-18	
Cs-136	1.3E-15	
Cs-137	7.9E-18	
Ba-137m	3.9E-16	
Ba-140	1.6E-15	子孫核種 La-140 を考慮
Ce-141	4.5E-17	
Ce-144	1.1E-17	
Pr-144	2.0E-16	
Pr-144m	3.5E-18	
Pm-146	4.8E-16	
Pm-147	9.4E-19	
Pm-148	4.6E-16	
Pm-148m	1.3E-15	
Sm-151	1.1E-19	
Eu-152	7.2E-16	
Eu-154	7.9E-16	
Eu-155	3.1E-17	
Gd-153	4.3E-17	
Tb-160	7.1E-16	
Pu-238	2.1E-20	
Pu-239	4.2E-20	
Pu-240	2.2E-20	
Pu-241	1.7E-21	
Am-241	9.9E-18	

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>2</sup> ))	備考
Am-242m	1.4E-17	子孫核種 Am-242 を考慮
Am-243	1.3E-16	子孫核種 Np-239 を考慮
Cm-242	2.6E-20	
Cm-243	7.1E-17	
Cm-244	3.1E-20	

**表 VIII-3 FGR15 を用いた遊泳、海中作業における海水からの放射線による実効線量換算係数**

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>3</sup> ))	備考
H-3	6.2E-27	
C-14	2.8E-21	
Mn-54	8.0E-17	
Fe-59	1.2E-16	
Co-58	9.2E-17	
Co-60	2.5E-16	
Ni-63	7.8E-24	
Zn-65	5.7E-17	
Rb-86	9.8E-18	
Sr-89	5.1E-19	
Sr-90	1.1E-19	
Y-90	9.5E-19	
Y-91	8.4E-19	
Nb-95	7.3E-17	
Tc-99	3.1E-20	
Ru-103	4.5E-17	
Ru-106	5.7E-25	
Rh-103m	1.0E-20	
Rh-106	2.1E-17	
Ag-110m	2.7E-16	
Cd-113m	1.0E-19	
Cd-115m	3.8E-18	

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>3</sup> ))	備考
Sn-119m	1.7E-19	
Sn-123	1.1E-18	
Sn-126	1.5E-16	子孫核種 Sb-126m を考慮
Sb-124	1.9E-16	
Sb-125	3.8E-17	
Te-123m	1.1E-17	
Te-125m	6.0E-19	
Te-127	5.6E-19	
Te-127m	2.0E-19	
Te-129	5.7E-18	
Te-129m	3.1E-18	
I-129	5.1E-19	
Cs-134	1.5E-16	
Cs-135	2.3E-20	
Cs-136	2.1E-16	
Cs-137	1.0E-19	
Ba-137m	5.5E-17	
Ba-140	2.5E-16	子孫核種 La-140 を考慮
Ce-141	5.8E-18	
Ce-144	1.4E-18	
Pr-144	4.3E-18	
Pr-144m	4.8E-19	
Pm-146	6.8E-17	
Pm-147	9.4E-21	
Pm-148	5.8E-17	
Pm-148m	1.9E-16	
Sm-151	6.1E-23	
Eu-152	1.1E-16	
Eu-154	1.2E-16	
Eu-155	3.9E-18	
Gd-153	5.6E-18	
Tb-160	1.1E-16	

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>3</sup> ))	備考
Pu-238	6.6E-21	
Pu-239	7.3E-21	
Pu-240	6.5E-21	
Pu-241	1.1E-22	
Am-241	1.2E-18	
Am-242m	1.1E-18	子孫核種 Am-242 を考慮
Am-243	1.7E-17	子孫核種 Np-239 を考慮
Cm-242	7.5E-21	
Cm-243	1.0E-17	
Cm-244	7.9E-21	

**表 VIII-4 FGR15 を用いた海浜砂からの放射線による実効線量換算係数**

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>3</sup> ))	備考
H-3	3.4E-23	
C-14	3.1E-20	
Mn-54	2.6E-17	
Fe-59	3.9E-17	
Co-58	3.0E-17	
Co-60	8.3E-17	
Ni-63	4.1E-21	
Zn-65	1.9E-17	
Rb-86	4.4E-18	
Sr-89	1.2E-18	
Sr-90	2.6E-19	
Y-90	2.3E-18	
Y-91	1.4E-18	
Nb-95	2.4E-17	
Tc-99	1.0E-19	
Ru-103	1.4E-17	
Ru-106	8.6E-22	
Rh-103m	6.6E-22	

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>3</sup> ))	備考
Rh-106	1.0E-17	
Ag-110m	8.7E-17	
Cd-113m	2.5E-19	
Cd-115m	2.3E-18	
Sn-119m	1.2E-20	
Sn-123	1.3E-18	
Sn-126	4.8E-17	子孫核種 Sb-126m を考慮
Sb-124	6.1E-17	
Sb-125	1.2E-17	
Te-123m	3.1E-18	
Te-125m	5.1E-20	
Te-127	4.6E-19	
Te-127m	2.9E-20	
Te-129	2.7E-18	
Te-129m	1.3E-18	
I-129	7.9E-20	
Cs-134	4.8E-17	
Cs-135	8.4E-20	
Cs-136	6.6E-17	
Cs-137	2.6E-19	
Ba-137m	1.8E-17	
Ba-140	8.3E-17	子孫核種 La-140 を考慮
Ce-141	1.8E-18	
Ce-144	4.2E-19	
Pr-144	4.2E-18	
Pr-144m	8.7E-20	
Pm-146	2.2E-17	
Pm-147	4.8E-20	
Pm-148	2.0E-17	
Pm-148m	6.0E-17	
Sm-151	5.5E-21	
Eu-152	3.6E-17	

核種	実効線量換算係数 ((Sv/s)/(Bq/m <sup>3</sup> ))	備考
Eu-154	3.9E-17	
Eu-155	9.5E-19	
Gd-153	1.2E-18	
Tb-160	3.5E-17	
Pu-238	5.3E-22	
Pu-239	1.5E-21	
Pu-240	5.5E-22	
Pu-241	7.5E-23	
Am-241	2.2E-19	
Am-242m	1.2E-18	子孫核種 Am-242 を考慮
Am-243	4.8E-18	子孫核種 Np-239 を考慮
Cm-242	5.9E-22	
Cm-243	2.9E-18	
Cm-244	1.0E-21	

### VIII-3. 被ばく評価結果

以下の3ケースの外部被ばく線量評価結果について、表 6-1-22 の評価結果と比較したものを表 VIII-6 に示す。

実測値の核種組成によるソースターム

- i. K4 タンク群（トリチウム以外の 63 核種の告示濃度比総和 0.29）
- ii. J1-C タンク群（トリチウム以外の 63 核種の告示濃度比総和 0.35）
- iii. J1-G タンク群（トリチウム以外の 63 核種の告示濃度比総和 0.22）

いずれの評価においても、廃止措置ハンドブックの換算係数を用いた評価が FGR15 の換算係数を用いた評価よりも大きい結果となった。廃止措置ハンドブックの換算係数による評価では、換算係数が算出されていない核種について、Co-60 など保守的な換算係数を使用したことで、評価結果も保守的な結果となっているものと考えられる。

表 VIII-6 FGR15 の線量換算係数を使用した外部被ばく線量評価結果との比較

ソース ターム	実測値によるソースターム					
	i. K4 タンク群		ii. J1-C タンク群		iii. J-G タンク群	
線量 換算 係数	廃止措置ハン ドブック	FGR15	廃止措置ハン ドブック	FGR15	廃止措置ハン ドブック	FGR15
海水面	6.5E-09	9.4E-10	1.7E-08	3.5E-10	4.7E-08	8.4E-10
船体	4.8E-09	1.7E-09	1.2E-08	8.9E-10	3.3E-08	2.1E-09
遊泳	4.5E-09	4.6E-10	1.2E-08	1.7E-10	3.2E-08	4.1E-10
海浜砂	7.8E-06	1.4E-06	2.1E-05	5.7E-07	5.6E-05	1.4E-06



参照文献

- [J1] EPA, FEDERAL GUIDANCE REPORT NO.15 "EXTERNAL EXPOSURE TO  
RADIONUCLIDES IN AIR, WATER AND SOIL", 2019