

多核種除去設備等処理水（ALPS 処理水）の海洋放出に係る
放射線影響評価報告書
（設計段階・改訂版）

2022 年 4 月

東京電力ホールディングス株式会社

(このページは意図的に白紙としています)

エグゼクティブサマリー

本報告書は、国際原子力機関（International Atomic Energy Agency、以下、「IAEA」）や国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection、以下、「ICRP」）等、国際的に認知された機関が定めた基準やガイドラインにしたがって、多核種除去設備（Advanced Liquid Processing System、以下、「ALPS」）によって浄化処理された水（以下、「ALPS 処理水」）の福島第一原子力発電所からの海洋放出により生じる人および環境に対する放射線の影響評価を実施し、評価結果をとりまとめたものです。

本報告書では、まず、2011年の東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所の事故により、汚染水がどのように発生し、管理、処理、そして貯蔵されてきたのか、また公衆や環境の安全を確保するためにどのような取り組みが継続されているのかに関して説明いたします。（1章）

次に、2013年に汚染水の貯蔵に伴うリスク問題が顕在化してから6年以上もの長い間、専門家の中でALPS処理水の取扱いについて複数の案が検討されてきた経緯（2章）、本評価の目的（3章）、評価の考え方（4章）、ALPSによる対象核種の除去の仕組みおよびALPS処理水放出設備の概要（5章）をそれぞれ説明いたします。

続く6章および7章では、人および海生動植物への放射線影響評価に関して説明いたします。各章では、放射線影響評価の主要な構成要素であるソースターム、海水中の拡散・移行のモデリング、被ばく経路、代表的個人・標準動植物の設定に関する考え方が詳述されています。海洋拡散シミュレーションの結果では、放出されたALPS処理水が海流等によって速やかに移流、拡散するため、放射性物質の濃度がバックグラウンド・レベルを超えるのは、福島第一原子力発電所の周辺海域の数km程度の範囲にとどまることを示しています（詳細は評価の概要および本文6-1-3.(1)「拡散シミュレーション結果」項を参照）。

社内外の専門家による上記の合理的かつ保守的な想定に基づき得られた放射線影響に関する評価結果からは、①ALPS処理水が福島第一原子力発電所の沖合約1kmの海底から放出された場合に、放出点近傍の最も影響を受けると想定される人が受ける放射線による影響は、国際的なガイドラインに沿って定められている我が国の安全基準と比べて、およそ3万分の1～3,000分の1程度と十分に小さいこと、また、②福島第一原子力発電所周辺10km×10kmの海域に生息する動植物に与える影響も、ICRPが提唱する、その水準を超えると当該動植物種に何らかの影響が生じることが懸念されるとされ

るレベル（誘導考慮参考レベル）下限値のおよそ 50 万分の 1～2 万分の 1 程度にとどまること、さらに、③放出点から離れた地域に及ぼす影響（トランスバウンダリー・インパクト）は検知できないほど小さい、という評価が得られました。これは、ALPS による高度な水処理と廃炉に必要な期間を有効に使う放出計画によって、人および海生動植物に与える影響を抑制し、国際的なガイドラインに沿って定められている我が国の安全基準内に十分収まることを示しています。

8 章では、上記評価を行うにあたって不確かさに関する考察に関して説明いたします。不確かさを考慮しても、評価の保守性が損なわれないことを示しています。

9 章では、ALPS 処理水の海洋放出に伴い実施するモニタリングの計画に関して説明いたします。これには、測定点、測定対象、頻度の増加など強化・拡充されたモニタリング計画が含まれ、7 章までに実施した放射線影響評価の結果を踏まえて適切なものとなっています。

本報告書の作成にあたり、当社は、社外より人の放射線防護、環境防護、海洋拡散計算の 3 分野について、本評価のレビューのために国内研究機関や大学等から専門家を招聘して検討し、コメントを得ています。

本報告書の評価は、海洋放出に係る計画の設計段階で入手可能な情報を基に実施したものであり、昨年 11 月に報告書を公表した後、当社における検討の進捗や意見募集により寄せられた意見、IAEA の専門家によるレビュー、原子力規制委員会との議論等を踏まえて、評価を一部見直し、改訂したものです。当社としては、今後、測定対象核種の厳密な選定を含む設計・運用に関する検討の進捗、各方面からの意見、第三者評価によるクロスチェックなどを通じて得られる知見を反映し、評価をさらに見直し、必要に応じこの報告書を改訂するとともに、放出計画等の必要な事項に反映していく予定です。

なお、当社は、ALPS 処理水を放出する前に、希釈前の ALPS 処理水に含まれる放射性物質を分析し、その結果を公表いたします。また、海洋放出開始当初は海洋放出前に混合・希釈の状況を直接確認し、その結果も公表いたします。さらに、海洋放出の実施に当たっては、周辺環境に与える影響等を監視しつつ、慎重に少量での放出から開始する計画であり、万が一、故障や停電などにより希釈設備等が機能不全に陥った場合や、放出開始後のモニタリングにより異常値が検出された場合には、安全に放出できる状況が確立されたと確認できるまでの間、放出を停止することとし、人および海生動植物の安全確保に最善の努力を尽くします。

目 次

エグゼクティブサマリー	ES-i
評価の概要	概要-i
1. 背景	1
2. ALPS 処理水の取扱いの検討	3
3. 評価実施の目的	6
4. 評価の考え方	7
(1) 線量拘束値	7
(2) トリチウムについて	8
(3) トリチウム以外の核種の移行、蓄積の評価について	9
5. ALPS 処理水等の水質と放出方法	12
5-1. ALPS 処理水等の水質について	12
5-2. 放出方法	14
5-3. 放出設備	17
5-3-1. 放出設備の概要	17
5-3-2. 測定・確認用設備	19
5-3-3. 移送設備	20
5-3-4. 希釈設備	21
5-3-5. 放水設備（関連施設）	22
6. 人（公衆）の防護に関する評価	26
6-1. 通常時の被ばく評価	26
6-1-1. 評価手順	26
6-1-2. 評価方法	27
(1) ソースターム（核種ごとの年間放出量）	27
(2) 放出後の拡散、移行のモデリング	37
(3) 被ばく経路の設定	41
a. 外部被ばく	42
b. 内部被ばく	47
(4) 被ばく評価の対象となる代表的個人の設定	70
(5) 線量評価の方法	74
6-1-3. 評価結果	75
(1) 拡散シミュレーション結果	75

(2) 評価に使用する核種ごとの海水中濃度	86
(3) 被ばく評価結果	93
6-2. 潜在被ばくの評価	98
6-2-1. 評価方法	98
(1) 潜在被ばくシナリオの特定と選択	98
(2) ソースターム（核種ごとの日放出量）	100
(3) 拡散、移行のモデリング、被ばく経路	112
(4) 代表的個人の設定	112
(5) 線量評価の方法	113
6-2-2. 評価結果	114
(1) 評価に使用する海水中濃度	114
(2) 被ばく評価結果	122
7. 環境防護に関する評価	123
7-1. 評価の考え方	123
7-1-1. 評価手順	123
7-2. 評価方法	124
7-2-1. ソースターム	124
7-2-2. 放出後の拡散、移行のモデリング	124
(1) 移行モデルの選定	124
(2) 海域における移流、拡散の評価	124
7-2-3. 被ばく経路の設定	124
7-2-4. 標準動物、標準植物（評価対象となる生物）の選定	127
7-2-5. 線量評価	127
7-3. 評価結果	137
7-3-1. 評価に使用する海水中濃度	137
7-3-2. 被ばく評価結果	145
8. 評価に係る不確かさに関する考察	146
8-1. ソースタームの選択に含まれる不確かさ	146
8-1-1. 核種組成の不確かさ（認識的不確かさ）	146
8-1-2. 分析の不確かさ（偶然的な不確かさ）	147
8-1-3. ソースタームの不確かさのまとめ	147
8-2. 環境中での拡散、移行のモデリングに含まれる不確かさ	155
8-2-1. 気象、海象等の不確かさ（偶然的な不確かさ）	155
8-2-2. シミュレーションモデル自体の不確かさ（認識的不確かさ）	155

8-2-3. 移行経路の選定における不確かさ（認識的不確かさ）	155
8-2-4. 海産物の濃縮係数、海底土の分配係数における不確かさ（認識的不確かさ）	156
8-3. 被ばく経路の設定における不確かさ	156
8-3-1. 被ばく経路の選定における不確かさ（認識的不確かさ）	156
8-4. 代表的個人の選定における不確かさ	157
8-4-1. 代表的個人の実際の生活における不確かさ（偶然的不確かさ）	157
8-4-2. 代表的個人の選定における不確かさ（認識的不確かさ）	157
8-4-3. 評価対象とする海域の範囲による不確かさ（認識的不確かさ）	158
8-5. 不確かさに関するまとめ	158
9. ALPS 処理水の海洋放出に伴い実施されるモニタリング	160
9-1. 福島第一原子力発電所における分析能力	160
9-1-1. 設備面における分析能力	160
9-1-2. 力量面での分析能力	162
9-1-3. 当社による管理および監督	165
9-2. 福島第一原子力発電所の敷地内のモニタリング	167
9-2-1. ソースモニタリング	168
9-2-2. 放水立坑（上流水槽）でのモニタリング	173
9-2-3. 海水配管内でのモニタリング	174
9-3. 敷地外のモニタリング	177
9-3-1. 東京電力による福島第一原子力発電所周辺の海域モニタリング	178
9-3-2. 国および福島県によるモニタリング	184
(1) 従前の国および福島県が実施している海域モニタリング	184
a. 海水	184
b. 海底土	185
c. 海洋生物	185
(2) 国が ALPS 処理水の海洋放出を受けて強化・拡充する海域モニタリング	185
a. 海水	185
b. 水生生物	186
(3) 福島県が ALPS 処理水の海洋放出を受けて強化・拡充する海水モニタリング	189
(4) 国が実施する海域モニタリングに係る IAEA との協力、IAEA 海洋モニタリング	191
9-4. 異常時の措置	192
9-5. モニタリングに関するまとめ	193
10. まとめ	194
参照文献	195

用語集	197
作成メンバー	199

添付資料

添付 I	ALPS 除去対象核種選定の考え方
添付 II	ALPS 処理水等の水質について
添付 III	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
添付 IV	ALPS 処理水の放出に係る期間に関する考察
添付 V	希釈水の取放水による外部影響について
添付 VI	評価対象以外の移行経路、被ばく経路について
添付 VII	拡散シミュレーションの妥当性について
添付 VIII	放水位置による拡散範囲の違いについて
添付 IX	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
添付 X	被ばく評価結果の核種ごとの内訳
添付 XI	外部被ばく線量換算係数の保守性について
添付 XII	被ばく評価に使用する海水濃度の評価範囲による影響について

参考資料

参考 A 福島第一原子力発電所の敷地境界線量評価と日本国内法における告示濃度限度について

参考 B ALPS 処理水に関する各処分方法の検討経緯

参考 C 運用管理値の設定と仮想した ALPS 処理水による被ばく評価について

参考 D ALPS 処理水放出に係る放射線以外も含む環境影響の評価結果について

参考 E 国内外の利害関係者との協議の状況

評価の概要

当社は、現時点の ALPS 処理水の海洋放出方法の検討状況に基づき、IAEA 安全基準文書 GSG-9 “Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment” [1]（以下、「GSG-9」）に示される計画的な放出による人への線量評価を行うとともに、GSG-9 では評価対象外となっている潜在被ばく¹および環境防護に関する評価も行った。また、評価の具体的な手順については、IAEA 安全基準文書 GSG-10 “Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities” [2]（以下、「GSG-10」）に従った。本評価の結果、ALPS による高度な水処理と、数十年に及ぶ廃炉にかかる期間を有効に活用した放出計画により、ALPS 処理水の海洋放出が人、海生動植物に与える影響を抑制し、国際的なガイドラインに沿って定められている我が国の安全基準内に十分収まることが示された。

本報告書のとりまとめにあたっては、社内より放射線影響評価について知見を有する職員を選定・配置するとともに、人の放射線防護、環境防護、海洋拡散計算の3分野について、社外より専門家をメンバーとして招聘し、意見を聴取した。

なお、本報告書においては、国が実施した ALPS 処理水の取扱いに関する検討や今後のモニタリングの強化・拡充についても考慮している。

放射性核種と拡散の評価

評価対象核種は、トリチウム（H-3）、炭素 14（C-14）および ALPS による除去対象 62 核種の合計 64 核種とした（汚染水に存在する放射性物質を推定して、62 核種を ALPS 除去対象核種として選定した考え方は、添付 I 「ALPS 除去対象核種選定の考え方」参照）。また、ALPS 処理水の核種組成は、処理前の汚染水中に含まれる放射性物質の組成や濃度、ALPS における処理時点での各吸着材の寿命などによりタンク群²ごとに異なることから、評価に使用する ALPS 処理水の核種組成は、実際に 64 核種の測定・評価が完了した 3 つのタンク群の核種組成とした（以上、6-1-2.(1)）。

¹ 潜在被ばく：確実に起こるとは予想されないが、予想される運転上の出来事、あるいは、線源の事故または機器の故障や操作ミスを含めた確率的な性質の事象または事象シーケンスによる、将来を見越して考慮した被ばく。

² 連結して使用している複数のタンクのグループ。1 つのタンク群には、通常 8~10 基程度のタンクが連結される。

なお、国際的に認知された ICRP が定めたガイドライン [3]に基づく日本の規制基準に照らせば、放出端、つまり大量の海水での希釈後に、規制基準である告示濃度限度³に対する濃度の比の総和（以下、「告示濃度比総和⁴」）を 1 未満とすることが規定されているが、当社はトリチウム以外の核種については、ALPS を含む水処理設備により適切に処理し、希釈前に告示濃度比総和 1 未満とすることによって、環境に放出される放射性物質量を極力低減することとしている。すなわち、セシウム 137 (Cs-137)、ヨウ素 129 (I-129)といった放射性核種を個別に評価した場合に規制基準を下回っていることを確認するだけでなく、それらすべての複数の放射性核種の影響が重なり合った総合的な影響を考慮した場合であっても、決して規制基準を超えないように管理する。

また、トリチウムは、水素の同位体であり、ほとんどが通常の水分子 (H₂O) を構成する 2 つの水素原子のうちの一つがトリチウムと置き換わったもの (化学式では HTO) として存在している。ALPS 等による浄化処理後も、タンクに貯蔵されている水のトリチウム濃度は、規制基準値 (告示濃度限度) である 60,000 ベクレル⁵ (Bq) /L を超えており、除去も非常に困難な核種であることから、その規制基準を満足するまで希釈する。国は、規制基準を厳格に遵守して公衆を保護するだけでなく、消費者等の懸念を少しでも払拭し、風評影響を最大限抑制するため、放出地点での ALPS 処理水の濃度が告示濃度限度と比較して十分低い 1,500Bq/L⁶を下回ることを当社に求めている。当社は「多核種除去設備等処理水の処分に関する政府の基本方針を踏まえた当社の対応について」(以下、「基本方針を踏まえた当社の対応」)において、放出水のトリチウム濃度を 1,500Bq/L 未満として、かつ、年間放出量の上限值を 22 兆 Bq⁷ (2.2E+13⁸ Bq) とした。当社は、放出水のトリチウム濃度を 1,500Bq/L 未満にするため、放出前に海水で少なくとも 100 倍以上 (これまでに測定し

³ 告示濃度限度とは、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に放射性核種ごとに定められた、放射性廃棄物を環境中へ放出する際の基準。告示濃度限度に等しい水を生涯 (成人では 70 年間) 毎日 2L ずつ飲み続けた場合、平均被ばく線量が 1mSv/年となるように定められている。

⁴ 複数の放射性物質を含む場合に、それぞれの核種の濃度の核種ごとに定められた法令上の濃度限度である告示濃度限度に対する比の総和。複数の放射性物質を含む場合には、法令上それぞれの核種ごとに定められた告示濃度限度に対する濃度の比の総和が 1 未満となる必要がある。

⁵ 放射能の量を示す単位。1 ベクレルとは、ある量の放射性核種の原子核が、1 秒間に放射性壊変によって 1 個の原子核が別な核種に変化する場合のその量をいう。

⁶ すでに排水の実績のある地下水バイパスおよびサブドレンの排水濃度の運用目標値と同じ値とした。この値は、「実施計画 Ⅲ3.2.1 放射性廃棄物等の管理」に記載し、原子力規制委員会により認可されている。

なお、このトリチウム濃度 1,500Bq/L は、告示濃度限度 60,000Bq/L の 40 分の 1、WHO 飲料水水質ガイドラインで設定されたレベルである 10,000Bq/L の約 7 分の 1 である。

⁷ 事故前の福島第一原子力発電所の放出管理値。

⁸ E+〇〇は 10 の〇〇乗の意。2.2E+13 は、2.2×10¹³を示す。

たタンクに貯留中の水の最大トリチウム濃度約 216 万 Bq/L を考慮すれば、最高で 1,400 倍以上) 希釈する。

なお、ALPS 処理水に含まれるトリチウム以外の核種の濃度は、希釈前であってもすでに規制基準以下の濃度であるが、海水希釈により、さらに濃度が低くなる。そのため、海水希釈後の放出水のトリチウム以外の 63 核種による告示濃度比総和は 0.01 未満となり、放射線による影響はさらに低減することとなる (以上、5-2.)。

放出水が海域に放出された際の拡散計算は、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により再現性が確認されたモデル [4]を元に、発電所近傍海域を高解像度化したモデルにより評価した (以上、6-1-2.(2))。なお、評価にあたっては、放出されるトリチウムの単位時間当たりの放射エネルギーのみ (流量や濃度は考慮しない) を使用して拡散計算を行っている。したがって、この評価上は希釈の効果は考慮されていない。

なお、本評価においては、海水中の放射性物質の濃度については、放射性物質が海底土などに吸着することによる溶存濃度の低下を考慮しない一方、魚介類や海底土中の放射性物質濃度については、吸着等により海水中濃度と平衡状態 (それ以上吸着等が起こらない状態) になっていると仮定し、また、食物連鎖の影響も含めた濃縮係数、濃度比を用いて評価している。現実には、海水と魚介類や海底土中の放射性物質が平衡状態となるには長期間を要するが、上記のような保守的な仮定をおくことにより、本モデルは、放出を長期間継続しても、これ以上、人体および魚介類への被ばくが増えることがないという状態を評価している。したがって、本評価は、ALPS 処理水を 1 年間放出した場合の影響を評価したものであるが、長期間にわたる放出による環境中での放射性物質の蓄積をも考慮したものと言える (以上、4.(3))。

人の被ばく経路

被ばく経路の設定では、大きく外部被ばくと内部被ばくに分けた。外部被ばくでは、先行事例など⁹を基に、①海水面からの外部被ばく、②船体からの外部被ばく、③遊泳等における水中での外部被ばく、④海浜砂からの外部被ばく、⑤漁網からの外部被ばくの、5 つの経路を想定して評価した。内部被ばくでは、⑥海水の飲水による内部被ばく、⑦海水の水しぶきの吸入による内部被ばく、⑧海産物摂取による内部被ばくの 3 つの経路を想定して評価した (以上、6-1-2.(3))。

⁹ 廃止措置工事環境影響評価ハンドブックなど。詳細は 6 章参照。

人の被ばく経路の設定は、放出点の近傍のもっとも影響を受けやすい場合を仮想して、代表的個人が設定されている。一部の被ばく経路に対する代表的個人に関する生活習慣および特性は、一部の生活習慣データ分布からもっとも高い群（例えば 95 パーセンタイル値）などを使用すべきとされるが、福島第一原子力発電所周辺の現時点の状況に鑑み、それに代わるものとして既往の「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」[5]にしたがい、漁業に年間 120 日（2,880 時間）従事し、そのうち 80 日（1,920 時間）は漁網の近くで作業を行い、海岸に年間 500 時間滞在し、96 時間遊泳を行う者として設定した。その上で、海産物摂取量は「令和元年国民健康・栄養調査報告」[6]より引用した摂取量データから、①海産物を平均的に摂取する個人と、②海産物を多く摂取する個人の 2 ケース（乳児、幼児はそれぞれ成人の 1/5、1/2）についてそれぞれ評価を行った（以上、6-1-2.(4)）。

計算の結果を、一般公衆の線量限度¹⁰1mSv/年、および線量拘束値¹¹に相当するものとして原子力規制委員会が定めた 0.05mSv/年と比較した結果、外部と内部を合わせた被ばくの合計値は、すべてのケースで一般公衆の線量限度および線量拘束値をいずれも下回った¹²。なお、線量限度 1mSv/年は、国際的に認められた公衆被ばくの基準である（以上、6-1-3.）。

また、併せて実施した IAEA の安全基準¹³に基づく潜在被ばく評価では、①配管から漏えいするケースとして、海洋に近い場所で配管破断が発生し、満水の測定・確認用設備のタンク 1 群約 10,000m³の ALPS 処理水全量が希釈されないまま、北防波堤付近から海洋に 20 日間かけて流出し続ける場合と、②さらに厳しくタンクから同時に大量漏えいするケースとして、巨大地震等で測定・確認用タンク 3 群すべてが同時に破損し、一日で 3 万 m³の ALPS 処理水が海洋に流出する事象を想定した評価を試みた。この場合の移行経路および被ばく経路は、北防波堤付近とした流出場所を除き通常時の被ばくと同様とし、被ばく時間は配管からの漏えいでは保守的に約 1 か月（27 日間）、巨大地震のケースでは約 1 週間（8 日間）と設定した。その結果、そのような場合であっても、潜在被ばくの実効線量は、

¹⁰ 線量限度：計画被ばく状況における個人への実効線量または等価線量であり、超えてはならない値（GSR Part 3）。

¹¹ 線量拘束値：個人線量の予測的および線源関連の値であり、線源についての防護と安全の最適化のためのパラメータとして計画被ばく状況において使用され、また最適化における選択肢の範囲を定める境界として役立つ。公衆被ばくに関して、管理下にあるすべての線源の計画的な取り扱いからの線量を考慮して、政府または規制機関によって制定または承認される線源関連の値である（GSR Part 3）。

¹² 線量限度は、規制の対象となる関連のすべての行為による個人の被ばく線量の合計についての限度であるのに対し、線量拘束値は、ある計画された行為に関係する特定の線源により与えられる線量の制限値に用いられる。

¹³ GSG-10

IAEA の安全基準¹³に示されている事故時評価の基準と比較し非常に小さい値となった（以上、6-2.）。

海生動植物への影響

環境防護に関する評価として、IAEA の安全基準¹³の附属書 I に示される手順にしたがい、ALPS 処理水放出設備の通常運転時における動植物の防護のための評価も行った。評価に使用する ALPS 処理水の核種組成としては、人の被ばく評価と同様に実測値による 3 ケースとした。評価対象となる動植物としては、ICRP がガイドラインで提示している標準動物および標準植物¹⁴から、周辺海域に生息する動植物を踏まえて、標準扁平魚（ヒラメ・カレイ類）、標準カニ（ヒラツメガニ・ガザミ）、標準褐藻（ホンダワラ類・アラメ）を選定した。線量評価は、ICRP が示した手法により行い、標準動植物の生息環境における線量率を誘導考慮参考レベル（DCRL）¹⁵と比較した。その結果、標準動植物の生息環境における線量率は、いずれも誘導考慮参考レベルの下限値を大きく下回った（以上、7 章）。

なお、念のため、ALPS 処理水に含まれる放射性物質以外の環境への影響についても評価した結果、海洋環境の重大な汚染または重大かつ有害な変化をもたらすものはなかった（参考 D「ALPS 処理水放出に係る放射線以外も含む環境影響の評価結果について」）。

新たな情報やモニタリングの結果を踏まえた変更

本報告書の評価は、海洋放出に係る計画の設計段階にある現時点で入手可能な情報を基に実施したものであり、昨年 11 月に報告書を公表した後、意見募集により寄せられた意見、原子力規制委員会からの指摘、IAEA によるレビューの結果等を踏まえて評価を見直し、報告書を改訂した。当社としては、今後、測定対象核種の厳密な選定を含む設計・運用に関する検討の進捗、各方面からの意見、IAEA の専門家によるレビュー、第三者評価によるクロスチェックなどを通じて得られる知見を反映し、必要に応じて本評価を見直し、この報告書をさらに改訂し、さらに必要な場合には放出計画等に反映させていく予定である。

また、当社は、ALPS 処理水を放出する前に、希釈前の ALPS 処理水に含まれる放射性核種を分析し、結果を公表する。また、海洋放出開始当初、海洋放出前に混合・希釈の状況を

¹⁴ 標準動物、植物：環境からの放射線被ばくを、線量と影響に関連付けるために想定する、特定タイプの動植物。

¹⁵ 誘導考慮参考レベル(DCRL, Derived Consideration Reference Level)：ICRP が提唱する生物種ごとに定められた 1 桁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。

直接確認し、その結果も公表する。さらに、海洋放出の実施に当たっては、周辺環境に与える影響等を監視しつつ、慎重に少量での放出から開始する計画である。万が一、故障や停電などにより希釈設備等が機能不全に陥った場合や、放出開始後のモニタリングにより異常値が検出された場合には、安全に放出できる状況が確立されたと確認できるまでの間、放出を停止することとし、人および海生動植物の安全確保に最善の努力を尽くす。

本報告書の結論としては、国際的に認知されている文書にしたがって評価した結果、計画している福島第一原子力発電所からの ALPS 処理水の放出による放射性物質による被ばくは、線量限度、線量拘束値や誘導考慮参考レベルの範囲に対して十分小さいということである。

1. 背景

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震において、未曾有の事故を経験した福島第一原子力発電所では、損傷した原子炉および原子燃料を冷却するため、事故以来、炉内への冷却水の注入を継続している。注入された水は、事故時に過熱損傷し、熔融するに至った燃料が周囲の構造物を巻き込みながら固化したと考えられる、いわゆる燃料デブリに触れた後、事故によって損傷した原子炉圧力容器および原子炉格納容器を通過し、最終的に建屋滞留水（以下、「滞留水」）として原子炉建屋最下階に滞留する。この滞留水には、事故時の炉心損傷により破損した燃料や炉心周辺にあった構造物、あるいは原子炉冷却材である水由来の多量の放射性物質が含まれることが、これまでの調査からわかっている。放射性物質の環境への拡散防止の観点からは、この滞留水の建屋外への漏えいを防止することが特に求められる。

一方、建屋地下階には、事故の直接の原因となった津波由来の海水が建屋内に浸入したため、これが滞留した他、事故時に1号機、3号機および4号機で発生した原子炉建屋の水素爆発で飛散したガレキにより損傷した建屋天井から雨水が浸入し続けている。さらに、上述の滞留水の漏えい防止のため、建屋周囲の地下水位を滞留水水位よりわずかに高くし、少量の建屋内への地下水流入を許している。これらすべての水が、先述の冷却水と混じり合うことによって、新たな汚染水となっていると考えられる。

当社は、重層的な対策¹⁶により、現在では汚染水が建屋外に漏えいしないよう管理するだけでなく、その発生量自体を、日量約540m³（2014年5月実績）から約140m³（2020年実績）まで低減し、さらに今後の発生量を2025年には同100m³以下に抑制することを目標としている。このように今後発生する汚染水についても、今まで同様処理をし、適切に放出する必要がある。

汚染水は、セシウム吸着装置¹⁷と、62核種を除去可能なALPSによって浄化処理され、敷地内のタンクに貯蔵される。ALPS処理によりトリチウム以外の核種の告示濃度比総和

¹⁶ 重層的な対策の例：

- a 汚染水発生量を抑制するため、事故により損傷した原子燃料の冷却に用いられる冷却水には、汲み上げられた汚染水をセシウム吸着装置により浄化し、その後逆浸透膜装置により淡水化した水を再利用している。
- b 加えて、建屋内に流入する地下水の量を抑制している。具体的には、高台および建屋近傍から地下水を汲み上げるとともに、建屋周辺に陸側遮水壁（凍土壁）を設置すること等により、建屋近傍の地下水位を低い状態で管理している。
- c 建屋内で発生した汚染水の系外への漏えいを防止するため、建屋内の汚染水の水位を常に建屋外の地下水位より若干低めになるように、建屋内汚染水を汲み上げて管理している。
- d 汲み上げられた汚染水は、汚染拡大防止および線量低減のため、セシウム吸着装置やALPS等により構成される水処理設備により処理した後、高台に設置されたタンク内に貯留している。

¹⁷ セシウムやストロンチウムを吸着させて汚染水を浄化する装置。

(参考 A「福島第一原子力発電所の敷地境界線量評価と日本国内法における告示濃度限度について」参照) は1未満となる(トリチウム以外の核種の告示濃度比総和が1未満となった水を「ALPS 処理水」と呼ぶ。なお、ALPS により一度処理を行ったものの告示濃度比総和が1未満となっていないものを「処理途上水」と呼び、「ALPS 処理水」と「処理途上水」をまとめて「ALPS 処理水等」と呼ぶ。)。2022年1月時点で、ストロンチウム処理水(ALPS 処理前水)¹⁸とALPS 処理水等を貯蔵するタンクは1,047基あり、容量約137万m³に対し、保管量は約129万m³となっている。汚染水発生抑制対策の効果や今後の汚染水発生量の予測について慎重に見極めていく必要はあるものの、2023年春頃には計画した容量に達する見込みである。

国が2019年12月の廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議(現「廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議」)で改訂した「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」[7]に示したとおり、福島第一原子力発電所における廃炉作業は、すでに事故により顕在化した放射性物質によるリスクから、人と環境を守るための継続的なリスク低減活動である。今後、数十年に及ぶ福島第一原子力発電所の廃炉に向けた長期の工程の中には、燃料デブリの取り出しや、使用済燃料の一時保管場所の確保といった、より大きな放射線リスクを抱える諸課題への対応が必要であり、これらの諸課題に的確に対応していくため、中長期的観点から総合的なリスクを着実に低減させることが不可欠である。

中長期的観点から総合的なリスクを低減させる必要があることは汚染水問題の取扱いにおいても同様であり、これまでもいわゆる重層的な対策により多量の放射性物質を含む汚染水発生量を抑制し、ALPSを含む水処理設備により汚染水に含まれる放射性物質を除去することで、敷地境界における廃炉作業に伴う追加的な被ばく線量を、ICRPが1990年発行のPublication60にて勧告している一般公衆に対する線量限度である1mSv/年未満にまで低減する等リスクを着実に低減してきた。今後、数十年に及ぶ廃炉作業を安全かつ着実に進めていくため、ALPSを含む水処理設備を用いて放射性物質を可能な限り取り除いた上で、人や海生動植物に実質的な影響を与えないような安全な方法で処分を実施し、今後行われる使用済み燃料の乾式キャスクによる仮保管設備での保管などを適切に行うことにより、引き続き発電所全体でのリスクを着実に低減させていく必要がある。

¹⁸ 汚染水から、セシウムとストロンチウムの大半を取り除いたALPS 処理前の水。

2. ALPS 処理水の取扱いの検討

詳細は参考 B「ALPS 処理水に関する各処分方法の検討経緯」に記載のとおりであるが、これまで、汚染水や ALPS 処理水等の処分方法については、国の廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議を筆頭に、複数年に亘り、国や IAEA、地方行政、住民や専門家とともに検討してきた。国は、2013 年に汚染水処理対策委員会の下に、原子力、環境科学、放射線医学、放射線生物学、水産化学などの分野の専門家 9 名の委員に加え、原子力規制庁および関係省庁が参加するトリチウム水タスクフォースを設置し、トリチウムに関する科学的知見の整理や先行事例を踏まえ提起された 5 つの処分方法案（地層注入・海洋放出・水蒸気放出・水素放出・地下埋設）、その他¹⁹についての技術的な検討を実施した [8]。さらに 2016 年からは、原子力、地盤工学、社会学、環境科学、農業、放射線生物学、放射線科学、水産化学などの分野の専門家 13 名に加え、原子力規制庁および関係省庁が参加する、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、トリチウム水タスクフォースの成果を踏まえつつ、風評被害など社会的な観点等も含めた総合的な検討を行ってきた [9]。国の多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会は、2020 年 2 月に報告書を取りまとめ、5 つの処分方法案について、モニタリングの実現可能性をも含む多角的な検討を行った上で、地層注入・水素放出・地下埋設については、規制的、技術的、時間的な観点から現実的な選択肢としては課題が多く、海洋放出および水蒸気放出が現実的な選択肢であること、水蒸気放出と海洋放出では、海洋放出の方が、放出処分量との関係でも実績があり、放出設備の取扱いの容易さ、モニタリングのあり方を含めて、確実に実施できるとの結論を示した。また、同委員会は、タンクによる長期保管についてタンク増設の余地が限定されていることや、長期保管に伴う老朽化や災害等による漏えいのリスクの高まりも指摘し、ALPS 処理水の海洋放出による処分が妥当であると評価している。

また、国は 2013 年から 2021 年にかけて、5 回に亘り IAEA の廃炉レビューミッションを受け入れ、その見解を検討に反映してきた。IAEA の廃炉レビューミッションは、ALPS 処理水の処分計画の重要性を指摘してきた。IAEA は、2015 年の報告書において、タンクによる保管は一時的な措置に過ぎないと評価した上で、より持続可能な解決が必要であると

¹⁹ タンク保管の継続についての議論を含む。

指摘した²⁰。その後、2019年の報告書においては、更なる必要な処理を実施した上で、ALPS処理水が速やかに処分されなければならないとの見解を示した²¹。

また、IAEAは、上記多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会の報告書の技術的側面について、2020年の東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に向けた取組に関するフォローアップレビュー報告書において、「十分に包括的な分析と健全な科学的・技術的根拠に基づいている」との評価を示している²²。

さらに、国は、多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会において報告書がとりまとめられた後、多核種除去設備等処理水の取扱いに係る関係者の御意見を伺う場を開催するとともに、書面を含め、広く意見を募集した。その結果、提出された意見の中には、ALPS処理水の海洋放出が周辺環境に与える影響などに対する懸念も示された。

国は、これらの検討や意見を踏まえて、ALPS処理水の取扱いに関して、「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針」（2021年4月13日、廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議、以下、「基本方針」）[10]にて、安全性を確保した上で海洋放出するとの基本的方針を示した。

当社は、この国の方針を踏まえ、同年4月16日に、「基本方針を踏まえた当社の対応」[11]を公表し、以下の考え方を示した。

- ALPS処理水の海洋放出にあたっては、法令に基づく規制基準等の遵守はもとより、関連する国際法や国際慣行に基づくとともに、更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。
- 公衆や周辺環境の安全を確保するため、放出水中のトリチウムおよびトリチウム以外の放射性物質の濃度は、国際標準（IAEA安全基準文書やICRP勧告等）に沿った国の規制基準や各種法令等を確実に遵守する。
- 基本方針や国際的に認知された安全基準等で示された条件のもとで放出を行った場合の人および環境への放射線の影響について、原子力規制委員会による必要な認可

²⁰ Mission Report, IAEA International Peer Review Mission on Mid-And-Long-Term Roadmap Towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4, issued 13 May, 2015, p. 13, <https://www.iaea.org/sites/default/files/missionreport130515.pdf>

²¹ Mission Report, IAEA International Peer Review Mission on Mid-And-Long-Term Roadmap Towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4, issued 31 January, 2019, p. 8, <https://www.iaea.org/sites/default/files/19/01/missionreport-310119.pdf>

²² Review Report IAEA Follow-up Review of Progress Made on Management of ALPS Treated Water and the Report of the Subcommittee on Handling of ALPS treated water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, issued 2 April, 2020, p. 6, <https://www.meti.go.jp/press/2020/04/20200402002/20200402002-2.pdf>

手続き開始までに、安全性を評価する。その結果を公表し、IAEAの専門家等のレビューを受ける（2021年11月に本報告書の初版を公表した。今回の改訂も含めその結果を公表し、引き続きIAEAの専門家等のレビューを受ける。）。

3. 評価実施の目的

本放射線影響評価の目的を以下のとおりとする。

目的 1：当社が ALPS 処理水の処分を行った場合の放射線による人および環境への影響について、国際的に認知された手法（IAEA 安全基準文書、ICRP 勧告）に照らした評価を行う。

目的 2：評価を行った結果を、国内外に向けて発信し、各方面からの意見を踏まえ、必要に応じ見直し等を行うことにより、処分に係るリスクを最適化する方法を検討する。

4. 評価の考え方

本報告書は、GSG-9 に示されている計画的な放出による代表的個人への線量評価を行うものとして作成しているが、具体的な評価方法は、GSG-10 に従って実施し、GSG-9 では求められていない潜在被ばくの評価や、環境防護に関する評価についても実施した。

以下に、評価における仮定や評価手法の考え方を示す。

(1) 線量拘束値

我が国の原子力規制体系には、厳密には線量拘束値²³は設定されておらず、代わりに通常運転時の発電用軽水型原子炉には周辺監視区域外の一般公衆の線量目標値として 0.05mSv/年が設定されている。

このような中、2022 年 2 月 16 日、原子力規制委員会より、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、「代表的個人について、評価結果が地域や生活環境等による人の年間被ばく量の変動範囲に比べ十分に小さいものであること、すなわち 50 μ Sv/年を下回ることを確認する。50 μ Sv/年は、通常運転時の発電用軽水型原子炉に適用される線量目標値であり、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 [12]。本評価においても、GSG-9 Fig.3, “Steps in setting discharge limits, indicating those responsible.”中の“Determine appropriate constraints”がこれに相当し、線量目標値 50 μ Sv/年 = 0.05mSv/年を線量拘束値として取り扱う。

ただし、実際に海洋放出される ALPS 処理水に含まれるトリチウムの年間総量は、廃炉全体のリスク最適化の観点、ALPS 処理水の陸上保管中に期待される放射性物質の自然減衰の効果と長期保管中における漏えいリスクや職業被ばく、廃炉完了までに ALPS 処理水の処分も完了していること、ならびに利害関係者の懸念を少しでも払拭するなどの諸要因を勘案した最適化の観点から、日本政府の基本方針において、事故前の福島第一原子力発電所の放出管理値 22 兆 Bq/年を下回る水準とすべく、本報告書による評価等に先立ち定められた。当社も、かかる経緯を受け、上記「基本方針を踏まえた当社の対応」（2021 年 4 月）に示すとおり、本報告書の評価条件としてトリチウムの年間放出量を 22 兆 Bq/年と設定し、その上で放射線影響の評価を行うものである。

線量拘束値と、トリチウムの年間放出量 22 兆 Bq/年との関係については、6-1-3.において考察を行った。

²³ 脚注 12 参照。

(2) トリチウムについて

トリチウム水 (HTO) は、環境中で動植物等により一部が有機結合型トリチウム (OBT: Organically Bound Tritium) に変換される。

トリチウムを口から摂取した場合の成人の実効線量係数は、下記のとおりである [13]。

トリチウム水	1.8E-11 Sv/Bq
OBT	4.2E-11 Sv/Bq

トリチウム水の実効線量係数は、人がトリチウムを体内に摂取した後に、一部が体内で OBT に変換されることも考慮したものである。放出する ALPS 処理水には有機物はほとんど含まれておらず（一般排水基準に基づく水質分析結果については、添付 II 「ALPS 処理水等の水質について」参照）、放出時点ではほぼ全量がトリチウム水と考えられることから、直接海水を飲む場合や海水のしぶきを吸入するような場合は、トリチウム水の実効線量係数により評価する。

一方、人と同様、動植物においてもトリチウム水を体内に取り込んだ際に、その一部が OBT に変換される。海産物などを通じて、直接 OBT で摂取する場合は、OBT の実効線量係数が適用されるため、海産物摂取については、摂取するトリチウムの 10% を OBT として実効線量係数を補正して使用する。具体的には、海産物摂取の被ばく評価に、トリチウムの補正した実効線量係数として成人：2.0E-11Sv/Bq、幼児：3.5E-11Sv/Bq、乳児：7.0E-11Sv/Bq を使用した。

なお、これまで当社が福島第一原子力発電所の近傍で実施した魚のモニタリングにおいては OBT は検出されておらず、周辺の海水中トリチウム濃度に対してトリチウムが濃縮されるような事象は確認されていない。また、世界的にもトリチウム水が OBT の生物濃縮を引き起こす証拠は見つかっていないとする見方が一般的である [14]²⁴。

²⁴ 例えば、フランスの放射線防護・原子力安全研究所が 2012 年に発行した「トリチウムと環境 (Tritium and the environment) [14]によれば、" To date, no phenomenon of tritium bioaccumulation has been observed in marine organisms on the French Channel coast. This observation leads to the conclusion that discharge from nuclear industry, led by the spent fuel processing plant in La Hague, are overwhelmingly in the form of HTO." (これまでのところ、ドーバー海峡沿岸でトリチウムの生物濃縮現象が海洋生物で観測されたとする現象はない。このような観測は、ラ・アーグの使用済燃料処理工場をはじめとする原子力施設からの放出が圧倒的に HTO (トリチウム水) の形態で行われているとの結論に結びつく。) とされている。

OBT については、添付 III「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」にまとめた。

(3) トリチウム以外の核種の移行、蓄積の評価について

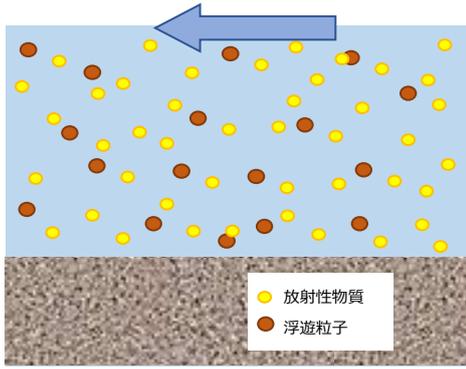
本報告書では、トリチウム以外の核種についても、海水に溶存した状態で移流、拡散するものとして評価を行った。放出される核種の一部は、放射性物質の化学形態等に応じて海水中の浮遊粒子や海底土、船体、海浜砂、漁網への吸着、または海洋生物への移行・濃縮が生じることから、環境における動態はトリチウムと必ずしも一致しないことが想定される。この傾向は、特に海底土等への分配係数や生物の濃縮係数が高い元素ほど、海水から土壌や生物への移行が顕著であることから、海水側の濃度低下、土壌や生物側の濃度上昇が顕著になる可能性がある。

しかし、放出する ALPS 処理水は、凝集沈殿や吸着、フィルターろ過等により浄化した不純物等がほとんど含まれない水であり、浮遊粒子に吸着したとしても沈殿物が大量に発生することは考えられないこと、海底土等に直接接触れる海水は海底付近のごく一部であることなどから、そもそも海底土に吸着する放射性物質の量は、放出される放射性物質の量全体と比較すれば非常に小さいものである。そのため、モデル単純化の観点から拡散において海底土等への吸着による海水濃度低下を考慮しないこととする一方、現実には長期間かけて進む海底土等への吸着や生物への濃縮については、海水濃度と平衡状態となるまで吸着が進んだ状態と仮定し、いずれも保守的に設定することにより、このような環境中の動態の差を考慮しなくてもよいように配慮している。これについて、図 4-1 にまとめた。

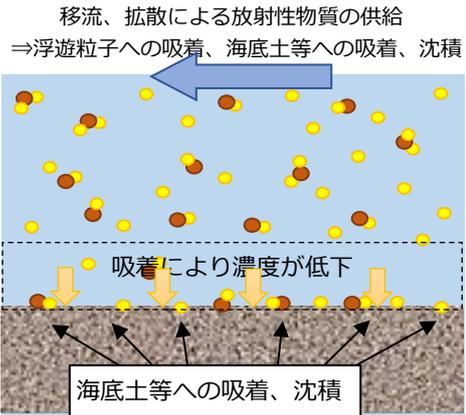
また、海洋における移流、拡散については、7 年分のシミュレーション計算を行い、年ごとの変動が小さいことを確認している。

このような配慮により、本評価は 1 年間の被ばく評価であるが、長期間にわたる放出により、環境中で放射性物質が蓄積した状態での評価となっており、ピーク値がこれ以上高くなることはないと考えられる。

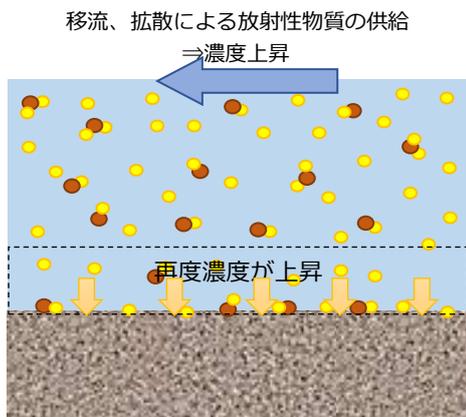
実現象における海底土等への蓄積プロセス



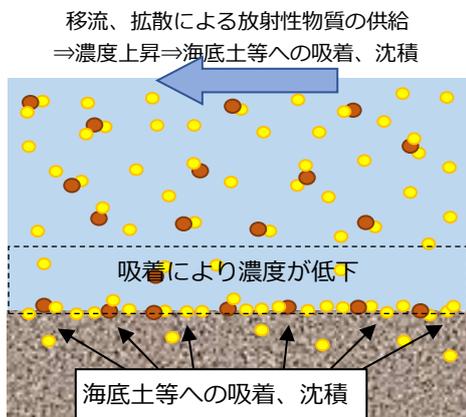
海洋放出が始まると、放出口から放出された放射性物質が海水中で潮流等によって移流、拡散することで、放射性物質が供給され、海水中の濃度が上昇する。



濃度の上昇により、供給された放射性物質のうち一部が海底土や浮遊粒子等に吸着される。その結果、海水中の放射性物質濃度が低下するとともに、海底土および浮遊粒子等の放射性物質濃度が上昇し、分配係数に応じた平衡状態に達する。



そこに、さらに放射性物質が放出され、海水中の放射性物質濃度が上昇する。



再び、海底土および浮遊粒子等の近傍で放射性物質の一部が吸着され、海水側の濃度が低下、海底土および浮遊粒子の濃度が上昇し、平衡に達する。これを長期的に繰り返すことで、海底土や浮遊粒子等の放射性物質濃度が上昇し、やがて海水中の放射性物質濃度と平衡状態となる。

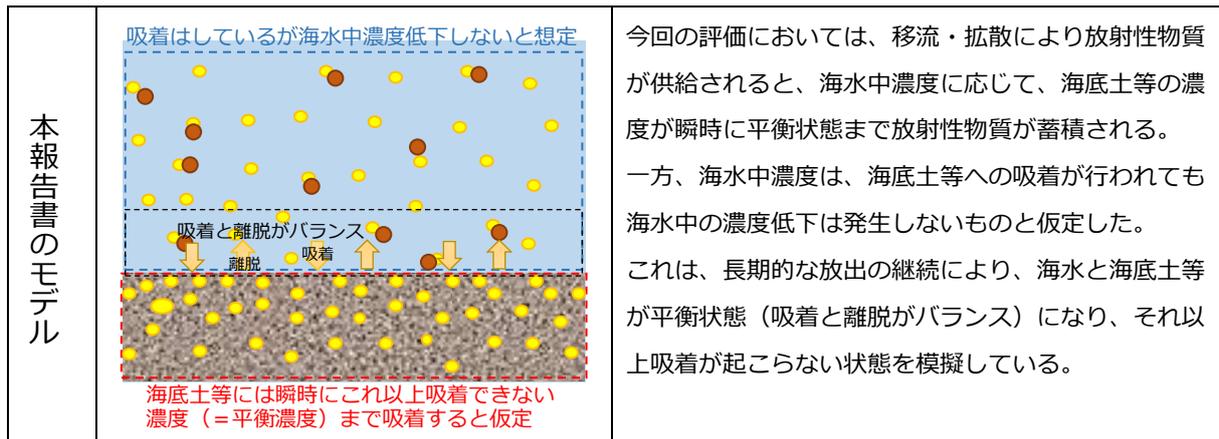


図 4-1 実際の海底土等への蓄積プロセスと本報告書でのモデル（イメージ図）

5. ALPS 処理水等の水質と放出方法

5-1. ALPS 処理水等の水質について

現在タンクに保管されている約 128 万 m³ の ALPS 処理水等（ストロンチウム処理水を除く）は、汚染水に含まれる放射性核種のうち、トリチウムと C-14 を除く 62 核種を除去できるように設計された ALPS によって浄化処理を行った水である。海洋放出期間中に新たに発生する汚染水についても、これまでと同様に ALPS 等により適切な処理を行い、海洋放出を行う必要がある。ALPS による除去対象 62 核種選定の考え方を添付 I「ALPS 除去対象核種選定の考え方」に示し、汚染水から放射性物質を除去する仕組みを添付 II「ALPS 処理水等の水質について」に示した。

ALPS は、トリチウムと C-14 以外の 62 種類の放射性物質を告示濃度比総和 1 未満まで浄化する能力を有しているが、処理を開始した当初の性能向上前の処理や、敷地境界における追加の被ばく線量を下げるとともに処理量を優先したこと等により、ALPS 処理水等の約 7 割（2019 年 12 月 31 日までに満水となったタンク群の内訳に基づく）は、トリチウム以外の放射性物質が環境中へ放出する際の基準（告示濃度比総和 1 未満）を超えて含まれている、いわゆる「処理途上水」である。こうした十分に処理されていない処理途上水については、処分前にトリチウム以外の放射性物質が告示濃度比総和 1 未満になるまで確実に浄化処理（二次処理）を行い、ALPS 処理水とした上で処分を行う。トリチウム、C-14 および ALPS による除去対象 62 核種の告示濃度限度を表 5-1-1 に示す。

ALPS による二次処理については、2020 年 9 月より 2 つのタンク群合計 2,000m³ を対象に、二次処理性能確認試験を実施し、それぞれのタンク群においてトリチウムを除く核種の告示濃度比総和が 1 未満に低減できることを確認した [15]。二次処理性能確認試験の結果を含め、ALPS 処理水等の水質については、添付 II「ALPS 処理水等の水質について」に示した。

本報告書では、すでに発電所内に貯留されている約 128 万 m³ の ALPS 処理水等だけでなく、海洋放出開始後に発生する汚染水も、ALPS を含む水処理設備により適切に浄化処理を行った後、ALPS 処理水として海洋放出を行っていく予定であることから、本報告書の評価対象として考慮している。

表 5-1-1 ALPS 除去対象 62 核種とトリチウム、C-14 の告示濃度限度

	対象核種 (物理学的半減期)	告示濃度限度 (Bq/L)		対象核種 (物理学的半減期)	告示濃度限度 (Bq/L)
1	H-3 (約 12 年)	6.0E+04	33	Te-129m (約 34 日)	3.0E+02
2	C-14 (約 5700 年)	2.0E+03	34	I-129 (約 1600 万年)	9.0E+00
3	Mn-54 (約 310 日)	1.0E+03	35	Cs-134 (約 2.1 年)	6.0E+01
4	Fe-59 (約 44 日)	4.0E+02	36	Cs-135 (約 230 万年)	6.0E+02
5	Co-58 (約 71 日)	1.0E+03	37	Cs-136 (約 13 日)	3.0E+02
6	Co-60 (約 5.3 年)	2.0E+02	38	Cs-137 (約 30 年)	9.0E+01
7	Ni-63 (約 100 年)	6.0E+03	39	Ba-137m (約 2.6 分)	8.0E+05
8	Zn-65 (約 240 日)	2.0E+02	40	Ba-140 (約 13 日)	3.0E+02
9	Rb-86 (約 19 日)	3.0E+02	41	Ce-141 (約 33 日)	1.0E+03
10	Sr-89 (約 51 日)	3.0E+02	42	Ce-144 (約 280 日)	2.0E+02
11	Sr-90 (約 29 年)	3.0E+01	43	Pr-144 (約 17 分)	2.0E+04
12	Y-90 (約 64 時間)	3.0E+02	44	Pr-144m (約 7.2 分)	4.0E+04
13	Y-91 (約 59 日)	3.0E+02	45	Pm-146 (約 5.5 年)	9.0E+02
14	Nb-95 (約 35 日)	1.0E+03	46	Pm-147 (約 2.6 年)	3.0E+03
15	Tc-99 (約 21 万年)	1.0E+03	47	Pm-148 (約 5.4 日)	3.0E+02
16	Ru-103 (約 39 日)	1.0E+03	48	Pm-148m (約 41 日)	5.0E+02
17	Ru-106 (約 370 日)	1.0E+02	49	Sm-151 (約 90 年)	8.0E+03
18	Rh-103m (約 56 分)	2.0E+05	50	Eu-152 (約 14 年)	6.0E+02
19	Rh-106 (約 30 秒)	3.0E+05	51	Eu-154 (約 8.6 年)	4.0E+02
20	Ag-110m (約 250 日)	3.0E+02	52	Eu-155 (約 4.8 年)	3.0E+03
21	Cd-113m (約 14 年)	4.0E+01	53	Gd-153 (約 240 日)	3.0E+03
22	Cd-115m (約 45 日)	3.0E+02	54	Tb-160 (約 72 日)	5.0E+02
23	Sn-119m (約 290 日)	2.0E+03	55	Pu-238 (約 88 年)	4.0E+00
24	Sn-123 (約 130 日)	4.0E+02	56	Pu-239 (約 24000 年)	4.0E+00
25	Sn-126 (約 23 万年)	2.0E+02	57	Pu-240 (約 6600 年)	4.0E+00
26	Sb-124 (約 60 日)	3.0E+02	58	Pu-241 (約 14 年)	2.0E+02
27	Sb-125 (約 2.8 年)	8.0E+02	59	Am-241 (約 430 年)	5.0E+00
28	Te-123m (約 120 日)	6.0E+02	60	Am-242m (約 140 年)	5.0E+00
29	Te-125m (約 57 日)	9.0E+02	61	Am-243 (約 7400 年)	5.0E+00
30	Te-127 (約 9.4 時間)	5.0E+03	62	Cm-242 (約 160 日)	6.0E+01
31	Te-127m (約 110 日)	3.0E+02	63	Cm-243 (約 29 年)	6.0E+00
32	Te-129 (約 70 分)	1.0E+04	64	Cm-244 (約 18 年)	7.0E+00

※半減期は、ICRP Publication 107 “Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations” [16]を
参考に有効数字 2 桁で記載

5-2. 放出方法

海洋への放出方法については、「基本方針を踏まえた当社の対応」以降、次のとおり方針を示した。

- 海洋放出に必要な設備の設計および運用については、法令を遵守し、原子力規制委員会による必要な認可を受ける。
- 処理途上水は、希釈前の濃度で安全に関する規制基準値を確実に下回る（トリチウム以外の核種の告示濃度比総和が1未満になる）まで何回でも二次処理を実施することにより、環境中に放出するトリチウムを除く放射性物質の量を可能な限り低減する。当社は、この希釈前の時点でトリチウムを除く放射性物質の告示濃度比総和が1未満でない処理途上水の放出は行わない。
- 希釈放出前に、ALPS 処理水中の放射性物質濃度（トリチウム、62 核種および C-14）の濃度を測定・評価し、測定・評価した結果を毎回公開するとともに、第三者による測定・評価や公開等も実施、その結果も公開する。
- その後、放出直後（敷地境界）における環境への影響軽減のために設けられている国の安全規制の基準（告示濃度限度）を満足させるため、また、消費者等の懸念を少しでも払拭し、風評影響を最大限抑制するため、取り除くことの難しいトリチウムについては、大量の海水で（放出される処理水中のトリチウム濃度に応じて決定、概ね 100 倍～1,400 倍以上）希釈してから放出する。これによりトリチウム以外の放射性物質の告示濃度比総和は 0.01 未満となる。併せて、実際の運用については、放出する ALPS 処理水のトリチウム濃度を、最大 100 万 Bq/L に制限することにより、海水移送ポンプ 2 台運転でも 1,500Bq/L に希釈可能とする。
- 放出水のトリチウム濃度は、国の安全規制の基準（告示濃度限度）60,000Bq/L および世界保健機関（WHO）飲料水水質ガイドラインである 10,000Bq/L を十分下回るものとし、現在実施している地下水バイパスやサブドレン等の排水濃度の運用目標と同様に 1,500Bq/L 未満とする。
- 海洋放出にあたっては、少量から慎重に開始することとし、設備の健全性や ALPS 処理水の移送手順、放射性物質の濃度の測定プロセス、放出水のトリチウムの希釈評価および海洋への拡散状況等を検証する。
- 万一、故障や停電等により移送設備や希釈設備が計画している機能を発揮できない場合は、直ちに放出を停止する。また、海域モニタリングで異常値が検出された場合には、いったん放出を停止するとともに、その状況を調査する。放出を再開する際には、安全に放出できることを確認した上で実施する。

- ALPS で除去できないトリチウムの年間放出量は、当面、事故前の福島第一原子力発電所の放出管理値である年間 22 兆 Bq (2.2E+13Bq) を上限とし、これを下回る水準とする。さらに、できるだけトリチウム濃度の低いものから優先して放出し、濃度の高いものは半減期にしたがって自然減衰するのを待つことで放出量を抑制するとともに、廃炉に必要な施設のための敷地確保の両立を図っていく。仮に 2023 年度から放出開始し 2051 年度に完了するとした場合の ALPS 処理水の放出に係るシミュレーション結果を、添付 IV「ALPS 処理水の放出に係る期間に関する考察」に示した。

「基本方針を踏まえた当社の対応」等でこれまでに示した具体的な実施事項は表 5-2-1 のとおり。

表 5-2-1 具体的な実施事項

処理途上水の二次処理	<ul style="list-style-type: none"> 処理途上水については、ALPS 等により二次処理を実施し、放出されるトリチウム以外の放射性物質が安全に関する規制基準値を確実に下回る（トリチウム以外の告示濃度比総和が 1 未満になっている）ことを確認し、放出される放射性物質の量を可能な限り低減する。
ALPS 処理水の分析	<ul style="list-style-type: none"> 希釈前の ALPS 処理水中のトリチウム、62 核種（ALPS 除去対象核種）および C-14 の放射性物質の濃度の測定・評価結果については、希釈放出前に毎回公開するとともに、第三者による測定・評価や公開等も実施する。
希釈・放出 (緊急時の措置含む)	<ul style="list-style-type: none"> 除去が困難なトリチウムは、濃度が告示濃度限度を十分下回るよう、十分な量の海水を用いて希釈（100 倍以上）して放出する。これに伴い、放出水のトリチウム以外の核種による告示濃度比総和は、0.01 未満となる。 <ul style="list-style-type: none"> トリチウム濃度は、地下水バイパスおよびサブドレン等の排水濃度の運用目標（1,500Bq/L 未満）と同じとする。 トリチウムの年間放出量は、当面、事故前の福島第一原子力発電所の放出管理値である年間 22 兆 Bq を上限とし、これを下回る水準とする。 なお、トリチウムの年間放出量は、廃炉の進捗等に応じて適宜見直す。 故障や停電等により移送設備や希釈設備が計画する機能を発揮できない場合は、直ちに放出を停止する。 海域モニタリングで異常値が検出された場合には、いったん放出を停止するとともに、その状況を調査する。放出を再開する際には、安全に放出できることを確認したうえで実施する。
海域モニタリング	<ul style="list-style-type: none"> 放出開始予定の約 1 年前から強化した計画にしたがい海域モニタリングを開始する。 海水および魚類・海藻類のモニタリングを強化する。 <ul style="list-style-type: none"> これまでの Cs-137 を中心としたものに加え、トリチウムも重点的に測定・評価する。 測定試料は引き続き海水が中心であるが、加えて魚類、海藻類の採取数を増加させる。 放出時の放射能測定結果は随時公開する。 <ul style="list-style-type: none"> 第三者による分析や公開等について検討する。

これに加え、ALPS 処理水の放出前の運用管理として、同じ告示濃度比の場合に魚介類による濃縮などの影響により人への被ばく影響が相対的に大きくなる 8 核種について、自主的な希釈前における運用管理値を設け、さらなる放射線環境影響の低減を図る。運用管理値の検討内容は参考 C「運用管理値の設定と仮想した ALPS 処理水による被ばく評価について」に示した。運用管理対象核種と運用管理値を表 5-2-2 に示す。放出前の測定・確認用設備における分析の結果、これら 8 核種の濃度が運用管理値を超過していた場合には、放出を行わず、二次処理に回すこととする。なお、これら 8 核種については、今後行われる放出前の測定対象核種見直し時に、その見直し結果と併せて必要に応じて見直すものとする。

表 5-2-2 運用管理値（希釈前）

対象核種	告示濃度限度 (Bq/L)	運用管理値 (Bq/L)	告示濃度比
C-14	2.0E+03	5.0E+02	2.5E-01
Fe-59	4.0E+02	2.0E-01	5.0E-04
Ag-110m	3.0E+02	6.0E-02	2.0E-04
Cd-113m	4.0E+01	2.0E-01	5.0E-03
Cd-115m	3.0E+02	4.0E+00	1.3E-02
Sn-119m	2.0E+03	6.0E+01	3.0E-02
Sn-123	4.0E+02	8.0E+00	2.0E-02
Sn-126	2.0E+02	4.0E-01	2.0E-03

5-3. 放出設備

「基本方針を踏まえた当社の対応」では、海洋放出設備の概念図（図 5-3-1）を示しているが、その後の設計詳細化により、以下に示すその後の海洋放出設備の検討状況を反映し、評価を行った。

5-3-1. 放出設備の概要

海洋放出設備は、主に、希釈前の ALPS 処理水の放射性物質濃度を確認する「測定・確認用設備」、希釈用の海水を汲み上げ放出する海水移送ポンプおよび海水配管ヘッダを含む海水移送配管、放水立坑（上流水槽）から構成される「希釈設備」、ALPS 処理水を測定・確認用設備から海水配管まで移送する処理水移送ポンプおよび処理水移送配管、弁類により構成される「移送設備」、ならびに放水立坑（下流水槽）、放水トンネルおよび放水口より構成される「放水設備（関連施設）」からなる。

ALPS で放射性物質を十分低い濃度になるまで除去した水が、いわゆる「ALPS 処理水」（トリチウム以外の核種の告示濃度比総和が 1 未満であることが確認された水）であることを確認し、100 倍以上の大量の海水で希釈した後、海洋に放出する。

放出しようとする水をいったん測定・確認用設備に受け入れ、循環・攪拌して放射性物質濃度を均一化した後、試料採取・分析を行い、ALPS 処理水であることを確認する。その確認ができたものは、移送設備で希釈設備に移送し、希釈設備により 5 号機取水路より海水移送ポンプで取水した大量の海水と混合し、トリチウム濃度を 1,500Bq/L 未満に希釈した上で、放水設備に排水する。

それぞれの設備についての詳細は、次項以降に示す。図 5-3-1 に海洋放出設備の概念図を、図 5-3-2 に海洋放出設備および関連設備の全体像を示す。

[海洋放出設備の概念図]

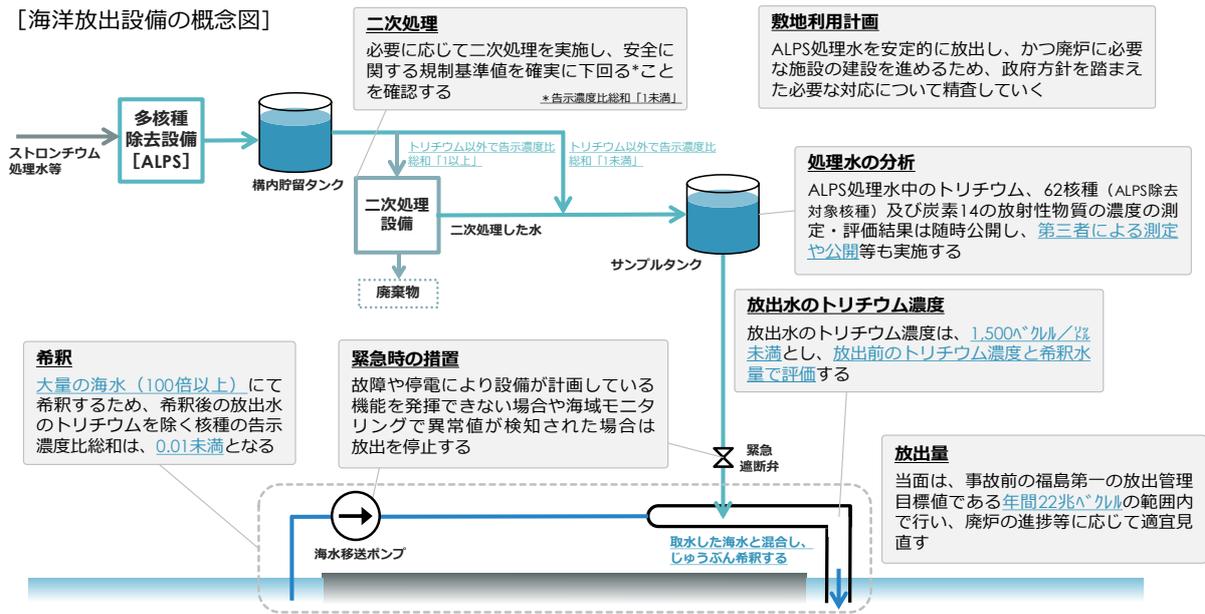


図 5-3-1 海洋放出設備の概念図

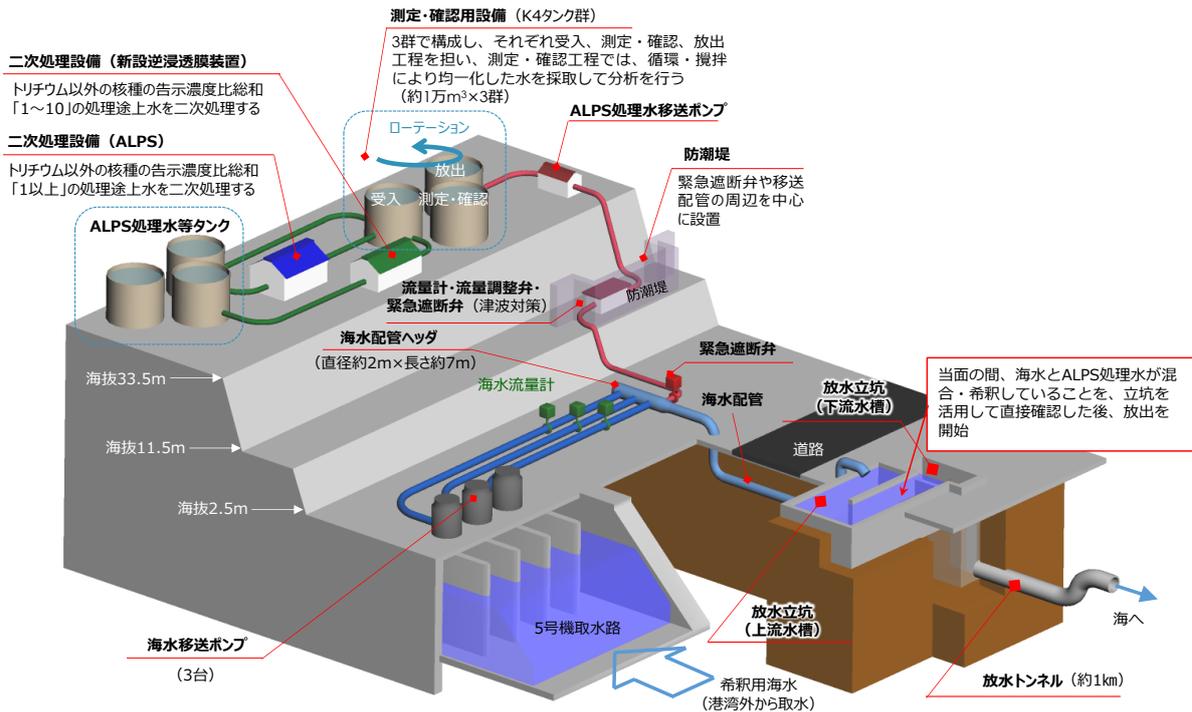


図 5-3-2 海洋放出設備および関連施設の全体像

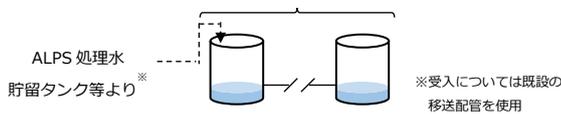
5-3-2. 測定・確認用設備

測定・確認用設備は、ALPS 近傍の海拔 33.5m の敷地中央に設置された K4 タンクエリアに設置された 35 基のタンクのうち、30 基を転用して使用する。タンク 10 基約 1 万 m³ 分を 1 群として構成し、各タンク内に攪拌装置、タンク群ごとに循環装置を設けることにより、均一化した水を採取して分析できるものとする。同時に受入、測定・確認、放出の 3 用途が必要なため、タンク群は 3 群設けローテーションしながら運用する。

図 5-3-3 に測定・確認用設備の概要図を示す。同図には、測定・確認用設備における大まかな運用も併せて示している。

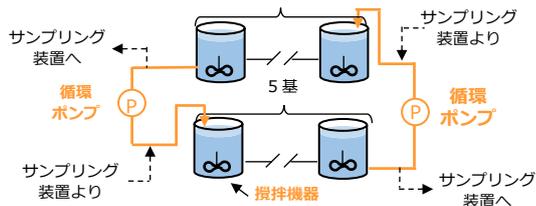
①受入工程

ALPS 処理水貯留タンク等より ALPS 処理水を空のタンク群で受入れる。
1 群 (10 基 : 約 10,000m³)



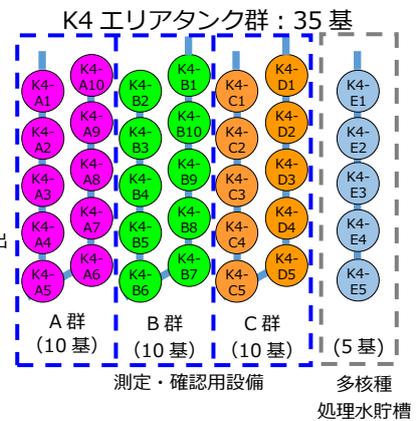
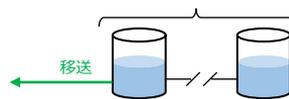
②測定・確認工程

攪拌機器・循環ポンプにてタンク群の水質を均一化した後、サンプリングを行い、放出基準を満たしているか確認を行う。



③放出工程

放出基準を満たしていることを確認した後、ALPS 処理水を移送設備により希釈設備へ移送する。
1 群 (10 基 : 約 10,000m³)



	A群	B群	C群
1周目	受入	—	—
2周目	測定・確認	受入	—
3周目	放出	測定・確認	受入
4周目	受入	放出	測定・確認
...	測定・確認	受入	放出

図 5-3-3 測定・確認用設備概要図

5-3-3. 移送設備

移送設備は、ALPS 処理水移送ポンプおよび移送配管等により構成される。

移送設備のうち、ALPS 処理水移送ポンプは、運転号機と予備機の 2 台構成とし、海拔 33.5m の測定・確認用設備のタンクから希釈設備まで ALPS 処理水の移送を行うため、測定・確認用設備近傍の多核種移送設備建屋内に設置する。同建屋内には、浄化が不十分な水が放出されることがないように、ガンマ線を検出して緊急隔離を行う目的で、放射線検出器を設ける。

移送設備のうち移送配管は、海拔 33.5m の測定・確認用設備から海拔 2.5m の海水配管までを繋ぐように設置する。異常時に ALPS 処理水の移送を停止できるように、移送配管には緊急遮断弁を 2 箇所設ける。1 箇所は異常時の ALPS 処理水の放出量を最少化するように海水配管注入部手前に、もう 1 箇所は想定される日本海溝津波などによる水没等により前者の緊急遮断弁が機能しない場合に備え、海拔 11.5m に新設予定の防潮堤内側に設置する ALPS 電気品室内に設ける。同室内には、海水配管ヘッダに移送される ALPS 処理水の流量を計測するための流量計、および規定された流量に調整するための流量調節弁が併設される。

移送設備の概要図を図 5-3-4 に示す。

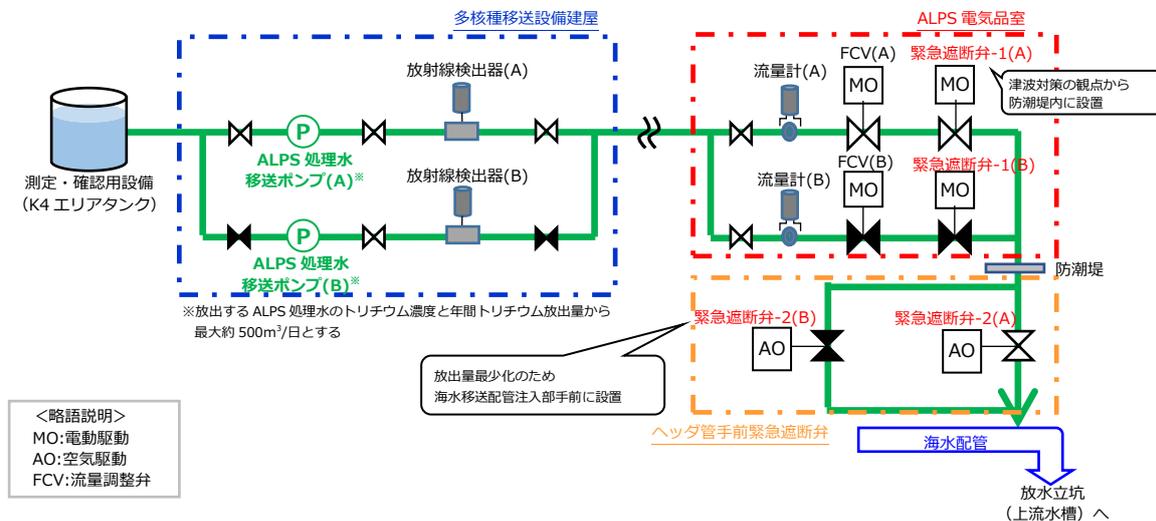


図 5-3-4 移送設備概要図

5-3-4. 希釈設備

希釈設備は、ALPS 処理水を海水で希釈し、放水立坑（上流水槽）まで移送し、放水設備（関連施設）へ排水することを目的に、海水移送ポンプ、海水配管（ヘッダ含む）、放水立坑（上流水槽）により構成される。希釈は、ALPS 処理水を海水配管ヘッダ内に注入し混合することで行う。

希釈設備は、5, 6 号機海側の海拔 2.5m の地点に設置する。大量の海水による希釈（100 倍以上）により、トリチウム濃度を 1,500Bq/L 未満とすることを確実にするため、海水移送配管には流量計を設ける。海水移送ポンプは、既存の 5 号機循環水ポンプ用の取水路を転用して設置するとともに、保守性を考慮し、3 台設置とする。海水による十分な希釈が出来るよう、海水移送ポンプの能力は流量測定可能な最大流量のポンプ（約 17 万 m³/日/台）とする。図 5-3-5 に希釈設備の概要図を示す。

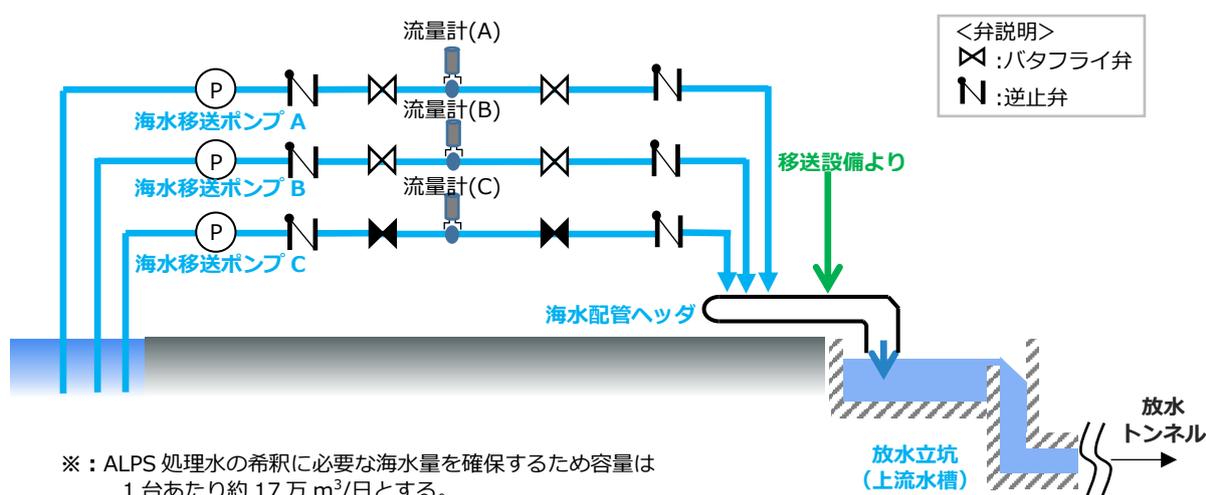


図 5-3-5 希釈設備概要図

上述のとおり、希釈は、ALPS 処理水を海水配管ヘッダ内に注入し混合することで行うため、ALPS 処理水の海水配管内における混合挙動を解析により求め、想定される希釈効果についても評価を行い、注入水の海水配管出口濃度評価断面における最大質量濃度は 0.28% と評価され、約 357 倍希釈されるという結論を得ている。

5-3-5. 放水設備（関連施設）

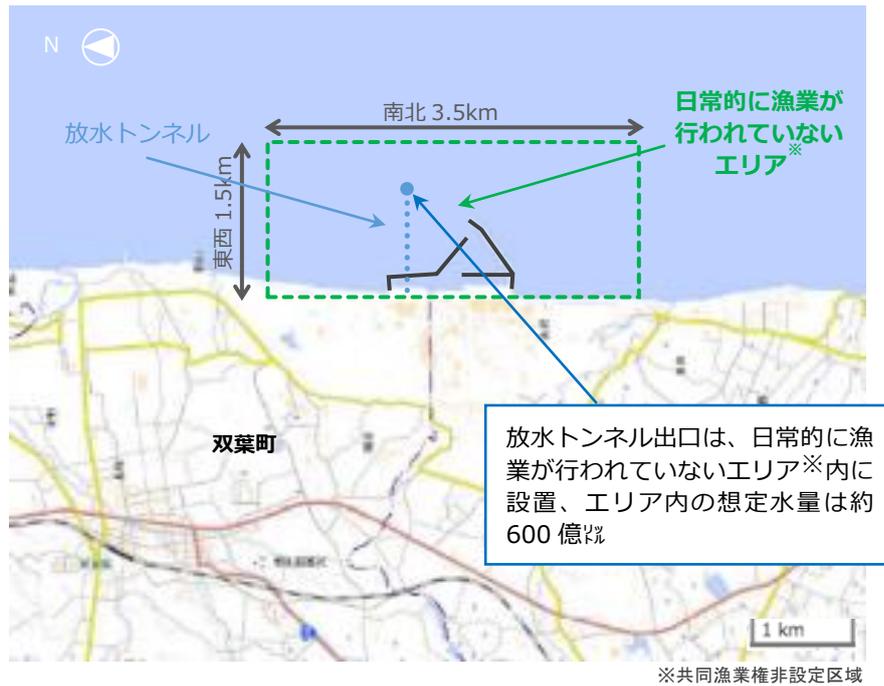
今回の ALPS 処理水の海洋放出では、設計過程の最適化の結果として、大量の海水と希釈・混合した水の排出は、北防波堤北側の沿岸に設置されている既存の放水口からではなく、発電所の沖合約 1km の海底に設置した放水口から行う（図 5-3-6～5-3-7 参照）。

放水設備は、放水立坑（下流水槽）、放水トンネルおよび放水口より構成され、放水立坑内の隔壁（上流水槽と下流水槽を分け隔てる堰）を越流した水を、放水立坑（下流水槽）と海面との水頭差により、約 1km 離れた放水口まで放水トンネル内を移送する設計とする。放水トンネルは、岩盤内を通過させることで、漏えいリスクが小さく、かつ耐震性に優れたものとする。

この案は、既存の放水口を使う案と比較し、以下のようなメリットがある。

- 既存の取放水設備をそのまま利用する港湾内取水・港湾外放水と比較すると、湾外と比較しやや放射性物質濃度が高い湾内の水が湾外に放出されることがない。港湾外から取水するため、5号機取水口南側で港湾内と仕切堤により隔離し、港湾北防波堤の透過防止工を一部撤去する。港湾内の放射性物質濃度の影響に関する考察を、添付 V「希釈水の取放水による外部影響について」にまとめた。被ばく評価の結果、港湾内取水・港湾外取水いずれの評価結果も、線量限度や線量目標値と比べてわずかであったが、港湾外から取水する方が外部への影響が小さくなることがわかっている。
- 放出水が沖合にて拡散するため、海水が再循環しにくい（希釈用海水として再取水されにくい）。
- 放水口の位置を、日常的に漁業が行われていない「共同漁業権非設定区域」内にすることにより、漁業への影響の低減に配慮している。
- 地質調査の結果、安定した岩盤が海底に露出しており、工事を安全かつ着実に行うことが可能である（図 5-3-8 参照）。

放水トンネル上流側の放水立坑（上流水槽・下流水槽）の構造概要を図 5-3-9 に、放水トンネル出口にあたる放水口のイメージ図を図 5-3-10 に、放水口の断面図を図 5-3-11 に示す。



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>

図 5-3-6 放水位置図

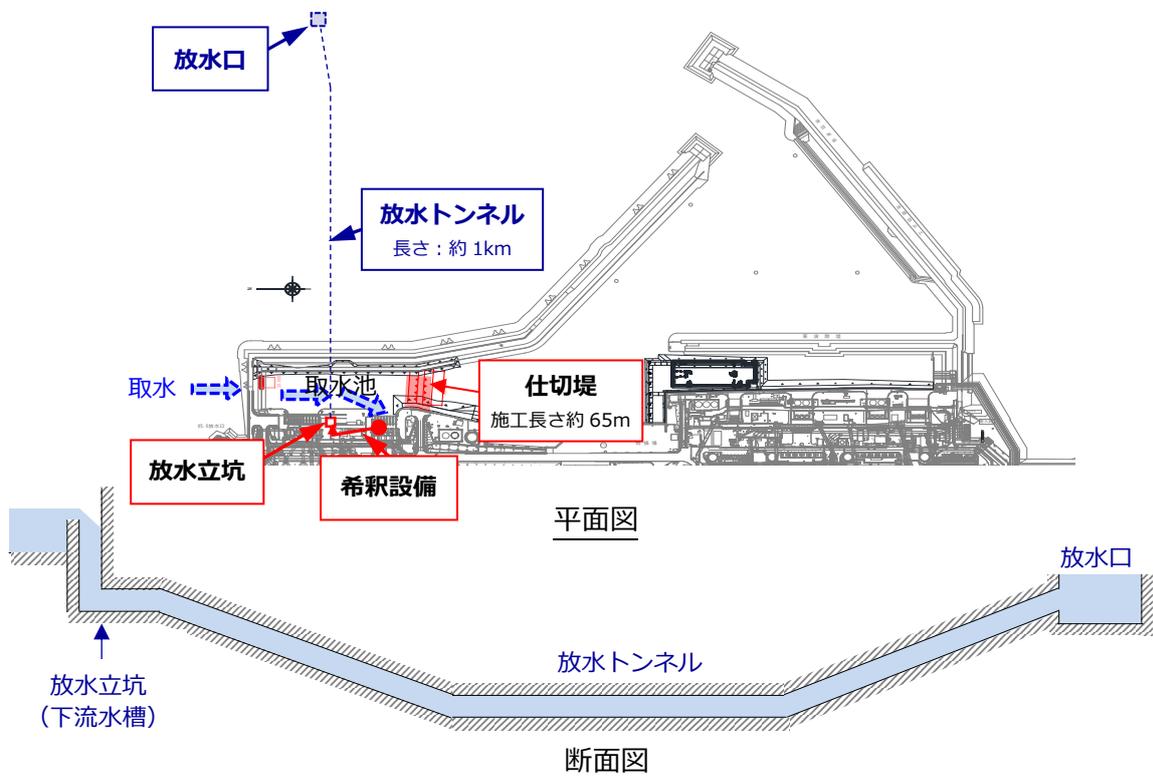


図 5-3-7 取放水設備の全体図

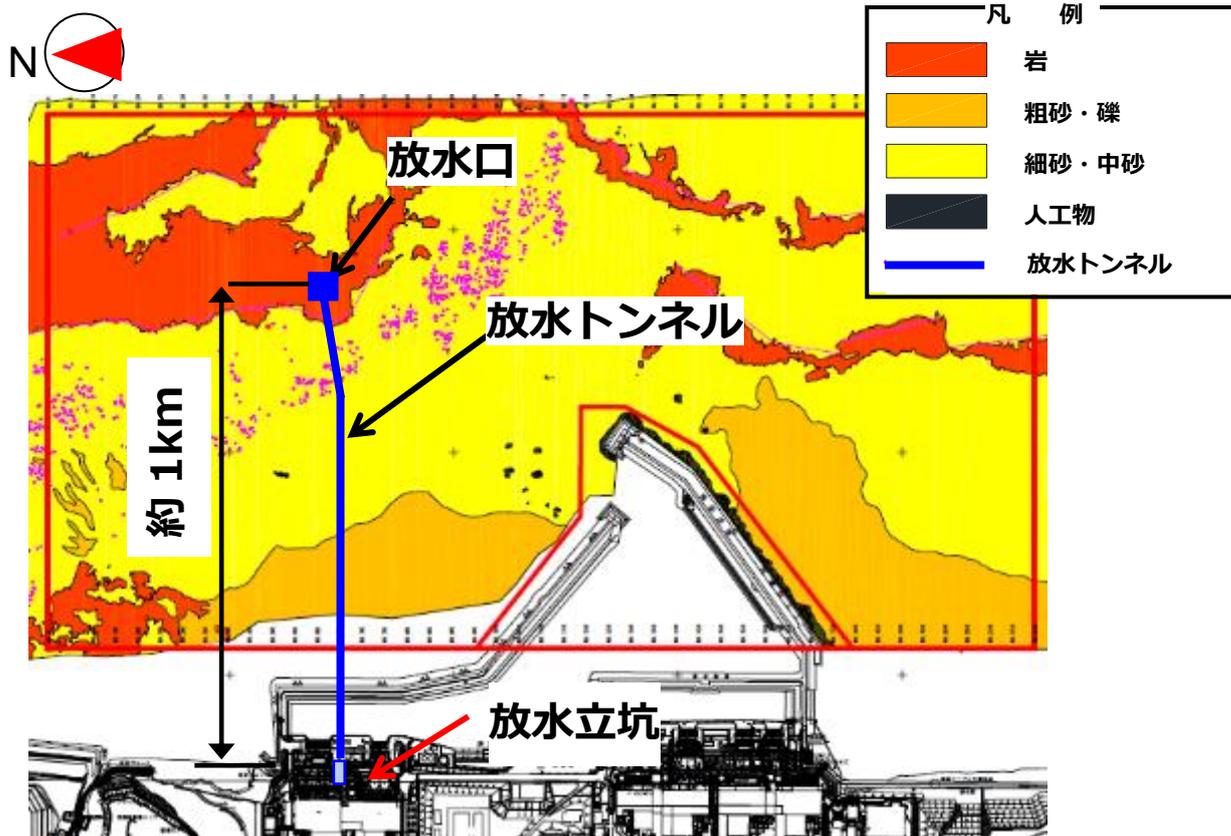


図 5-3-8 想定地質平面図

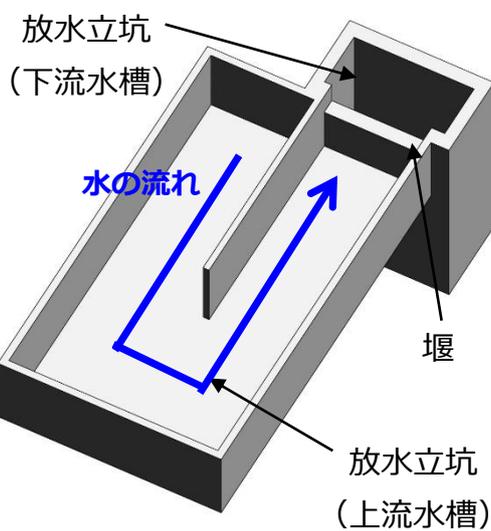


図 5-3-9 放水立坑（上流水槽・下流水槽）構造概要図

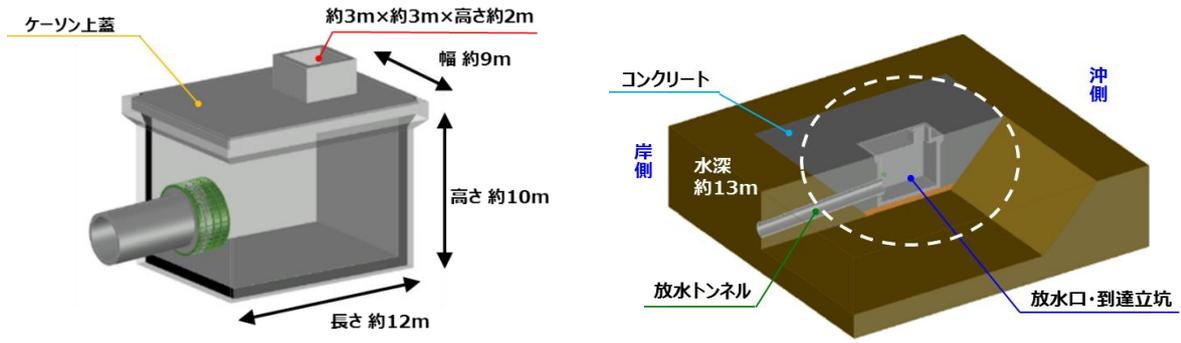


図 5-3-10 放水口イメージ図

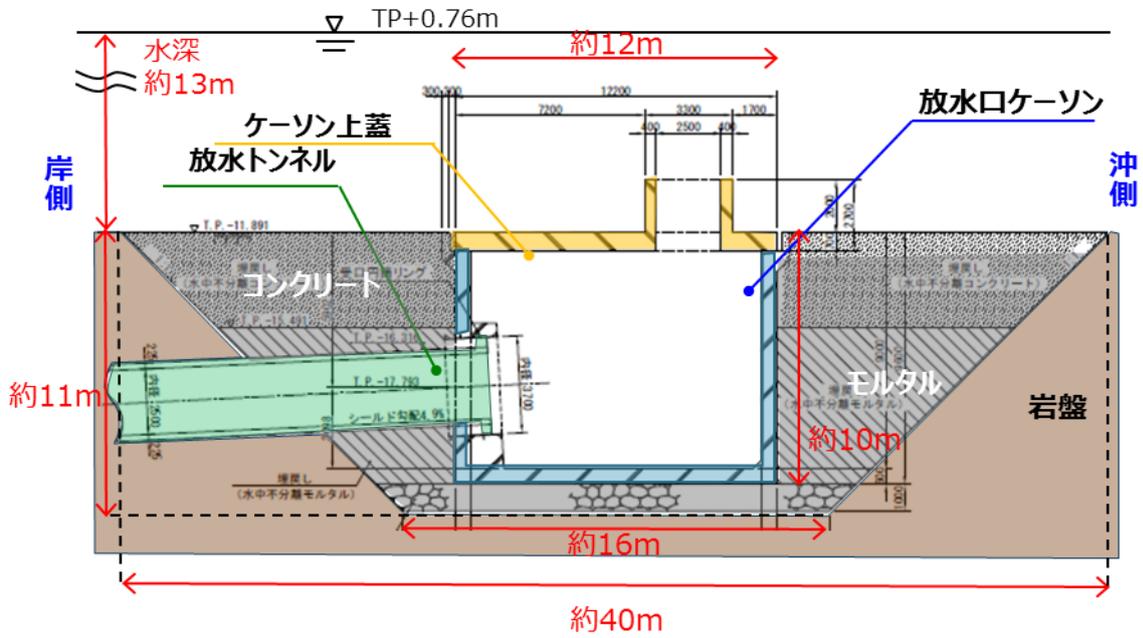


図 5-3-11 放水口断面図

6. 人（公衆）の防護に関する評価

6-1. 通常時の被ばく評価

6-1-1. 評価手順

現時点の検討状況に基づき、人の放射線防護の観点からリスクを確認するため、代表的個人への線量評価を行う。評価の具体的な手順は、GSG-10 に示されている、図 6-1-1 の手順にしたがって行う。

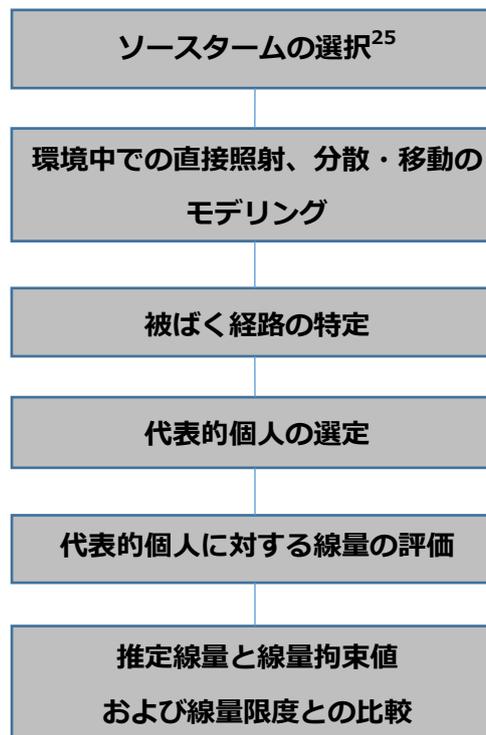


図 6-1-1 被ばく評価の手順（GSG-10 より作成）

²⁵ 本評価において、ソースタームとは、ある期間（例えば 1 年間）に海洋に放出される ALPS 処理水に含まれる核種ごとの放出量（総量）を意味する。

6-1-2. 評価方法

(1) ソースターム（核種ごとの年間放出量）

ALPS 処理水の海洋放出に係る放射線影響評価の対象核種は、トリチウム、C-14 および ALPS による除去対象 62 核種の合計 64 核種とした（表 5-1-1）。このうち、トリチウムについては「基本方針を踏まえた当社の対応」において、年間放出量の上限を当面事故前の福島第一原子力発電所の放出管理値である 22 兆 Bq (2.2E+13Bq) としている。

トリチウム以外の 63 核種の放出量は、ALPS 処理水の核種組成（核種ごとの濃度）と年間排水量の積によって算出する。ALPS 処理水の核種組成はタンク群ごとに異なるが、現時点で 64 核種すべての分析結果がそろっている K4、J1-C、J1-G の 3 つのタンク群の核種組成を使って設定することとした。

- 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）

K4 タンク群は、添付 II「ALPS 処理水等の水質について」II-7.「処理途上水の発生理由」の b.2016 年度に記載のとおり、ALPS の性能を活かして一回の処理で告示濃度比総和を 1 未満とするように処理した水である。

一方、J1-C タンク群および J1-G タンク群は、ALPS の稼働率を上げて運転していた時期に処理された水であり、最初の ALPS による処理では告示濃度比総和が 1 を下回らなかった処理途上水として貯留されていた水であったが、ALPS の二次処理性能を確認するために比較的濃度の高い群（J1-C タンク群、二次処理前告示濃度比総和約 2,400）と低い群（J1-G タンク群、二次処理前告示濃度比総和約 390）として選択され、それぞれ二次処理が行われ、いずれも二次処理後には告示濃度比総和が 1 を大きく下回った。

これら 3 つのタンク群の主要 7 核種²⁶および Tc-99 の濃度について、現在貯留しているタンク群の分析結果からトリチウム以外の告示濃度比総和が 1 未満と推定できるタンク群の測定結果と比較を行い、図 6-1-2 にまとめた。I-129 は、3 つのタンク群、その他のタンク群ともばらつきがあるものの、その他の核種については概ね他のタンク群の分析結果の中でも中心的な濃度であった。

²⁶ 設備入口・出口にて ALPS 除去対象のうち処理の過程で有意に検出される 7 核種（Cs-134、Cs-137、Co-60、Sb-125、Ru-106、Sr-90、I-129）。

また、ALPS の除去対象ではないトリチウム、C-14 については、すべてのタンク群の測定結果との比較を行い、図 6-1-3 にまとめた。C-14 も、他のタンク群の分析結果の中で中心的な濃度であった。

以上の比較から、3 つのタンク群の核種組成は、ALPS 処理水の濃度組成としては代表的なものと考えられる。これらのソースタームは不確かさを含んでいるが、その不確かさについては 8 章にて記述する。

なお、ALPS の除去対象 62 核種については、1～3 号機の原子炉内に保有していた燃料由来の核分裂生成物と運転時の原子炉保有水等に含まれていた腐食生成物から 62 核種を選定していたが、その後の ALPS 処理水における主要 7 核種の放射能濃度分析値の和と全ベータ測定値にかい離が確認され、これを起因とした調査により C-14 を確認し、その後に C-14 を ALPS 処理水の測定対象に追加した経緯がある。

一方、ALPS 除去対象核種の 62 核種は、震災 1 年後のインベントリデータを使用していることから、現在では十分に減衰して存在量が十分に小さくなっている核種の存在も考えられる。

以上の状況を踏まえて、ALPS 処理水を海洋放出するに当たり、改めて徹底的に検証した上で測定核種の選定を行うこととしており、その場合には本評価を見直す予定である。新たな核種が追加される可能性もあるが、検討対象として今後加わるものとしては、低エネルギーの放射線のため測定が困難かつ人体へ影響が小さい核種が予想されていることから、測定核種の見直しによる被ばく評価への影響はほとんどないものと考えている。

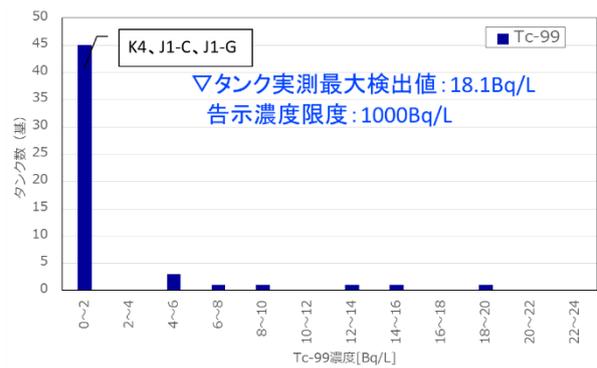
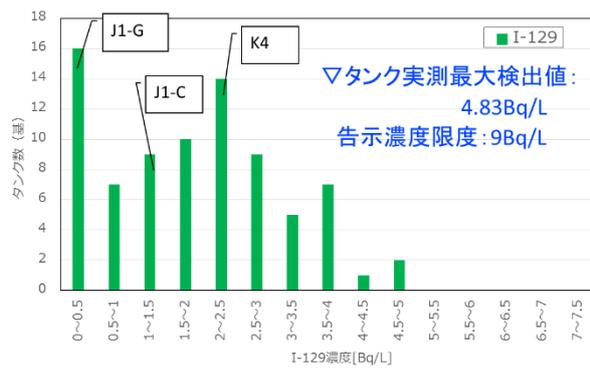
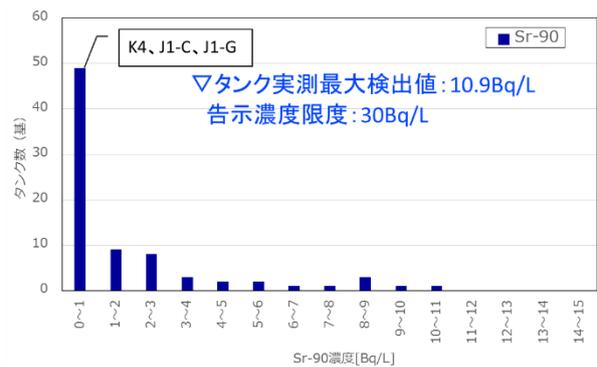
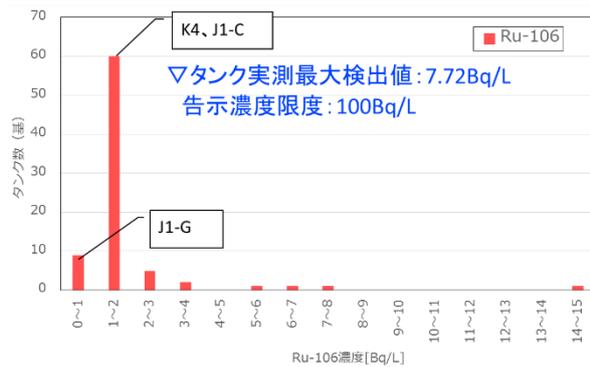
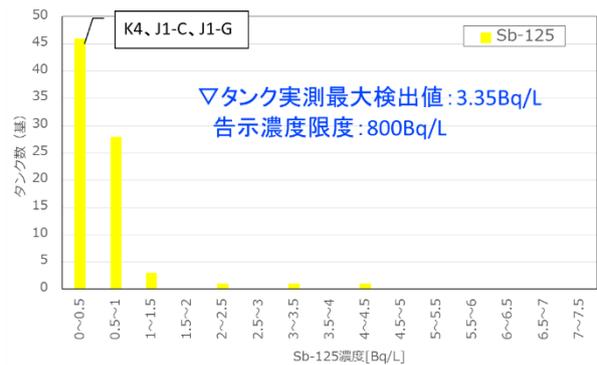
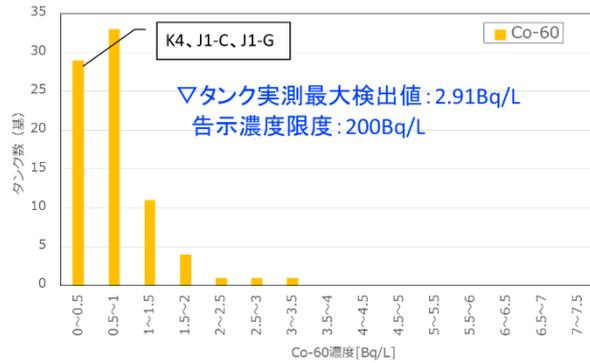
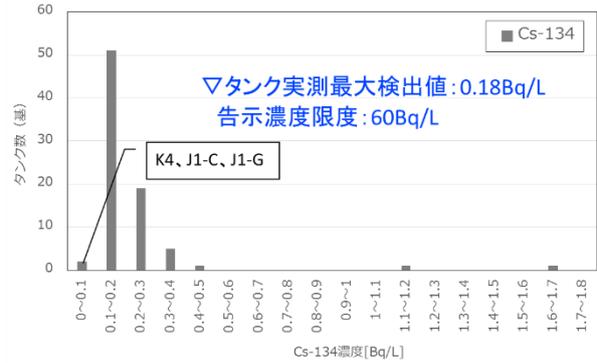
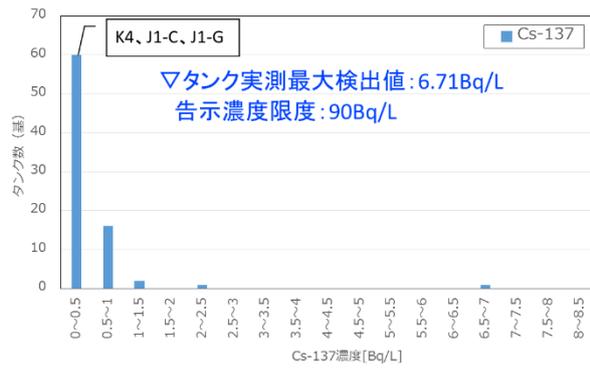


図 6-1-2 ALPS 処理水の分析結果における主要 7 核種および Tc-99 の濃度分布（2021 年 3 月末現在）と 3 タンク群の比較

※主要 7 核種告示濃度比総和 0.59 未満（添付 II 参照）の分析結果(80 基分)をプロット
（二次処理試験水は除く）

※縦軸はタンクの数を示す（不検出の場合には検出下限値で計数）

※本図は測定時点の濃度でとりまとめたものであり、半減期補正はしていない

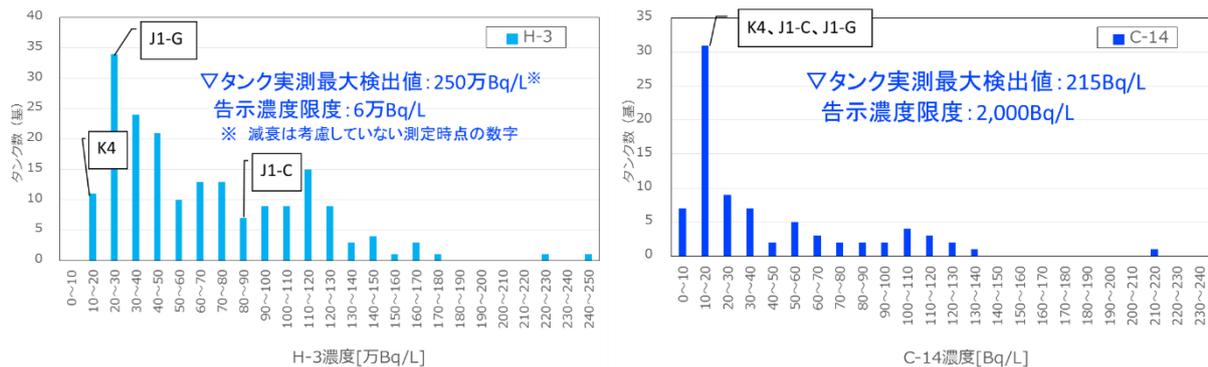


図 6-1-3 ALPS 処理水等の分析結果におけるトリチウム、C-14 の濃度分布（2021 年 3 月末現在）と 3 タンク群の比較

※タンク群の分析結果(トリチウムは 189 基分、C-14 は 81 基分)をプロット（二次処理試験水は除く）
 ※縦軸はタンクの数を示す（不検出の場合には検出下限値で計数）
 ※本図は測定時点の濃度でとりまとめたものであり、半減期補正はしていない

一方、保管されている ALPS 処理水等のトリチウム濃度には、図 6-1-3 のとおり幅があるため、想定される処理水の年間排水量は、放出する ALPS 処理水中に含まれるトリチウムの濃度によって変化する。年間排水量は、トリチウム濃度と逆比例の関係であり、トリチウム以外の 63 核種の年間放出量は、トリチウム濃度が低い方が増加する。すなわち、下式に示す関係がある。

$$S_i = V \times C_i = \frac{S_{H-3}}{C_{H-3}} \times C_i$$

ここで、

- S_i : 1 年間に放出される核種 i の放射能量 (Bq)
- V : 1 年間に放出される ALPS 処理水の排水量 (L)
- C_i : 放出される ALPS 処理水中に含まれる核種 i の濃度 (Bq/L)
- S_{H-3} : 1 年間に放出されるトリチウムの放射能量 (=22 兆 Bq)
- C_{H-3} : 放出される ALPS 処理水中に含まれるトリチウム濃度 (Bq/L)

このうち C_i および C_{H-3} の数値は、本評価においては各タンク群の核種組成の定義によって与えられていることから、各核種の年間放出量は、それぞれの核種組成のトリチウム濃度により一意に決まることがわかる。

各タンク群の分析結果を用いたソースタームを、以下の手順で設定する。実際の放出では、タンク群ごとにソースタームが変化するが、本評価ではモデルの単純化のため、年間を通じて一定で変化しないと仮定した。

なお、これらの設定による核種ごと濃度、年間排水量、年間放出量を表 6-1-1～6-1-3 に示す。

- ① トリチウムの年間放出量は、上限である 22 兆 Bq ($2.2E+13$ Bq) とする。
- ② ①とトリチウム濃度から、年間排水量を求める。
- ③ 63 核種の濃度と②で求めた年間排水量の積により、核種ごとの年間放出量を求める。検出下限値未満の核種の中には、短半減期核種のものも含まれ、事故後 11 年以上経過した現在では実際にはすでに減衰してしまったものもあると考えられるが、保守的に検出下限値で存在するものとして評価する。

実際に ALPS 処理水を放出する際には、5-2.で示したとおり、トリチウム濃度が地下水バイパスおよびサブドレンの運用目標値である $1,500\text{Bq/L}$ を下回るよう、海水により 100 倍以上希釈してから海洋に放出することから、放出水のトリチウム以外の核種による告示濃度比総和は、0.01 未満になる。

表 6-1-1 実測値 (K4 タンク群) の核種組成によるソースターム (年間放出量)

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	年間排水量 (L)	年間放出量 (Bq)	備考
H-3	$1.9E+05$	$1.2E+08$	$2.2E+13$	<ul style="list-style-type: none"> ・トリチウムの年間放出量は、年間放出量の上限値とした ・放出する際には、トリチウム濃度が $1,500\text{Bq/L}$ 未満となるよう、海水により 100 倍以上に希釈してから放出する
C-14	$1.5E+01$		$1.7E+09$	
Mn-54	$6.7E-03$		$7.8E+05$	
Fe-59	$1.7E-02$		$2.0E+06$	
Co-58	$8.0E-03$		$9.3E+05$	
Co-60	$4.4E-01$		$5.1E+07$	
Ni-63	$2.2E+00$		$2.5E+08$	
Zn-65	$1.5E-02$		$1.7E+06$	
Rb-86	$1.9E-01$		$2.2E+07$	
Sr-89	$1.0E-01$		$1.2E+07$	
Sr-90	$2.2E-01$		$2.5E+07$	
Y-90	$2.2E-01$		$2.5E+07$	

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	年間排水量 (L)	年間放出量 (Bq)	備考
Y-91	2.2E+00		2.5E+08	
Nb-95	1.0E-02		1.2E+06	
Tc-99	7.0E-01		8.1E+07	
Ru-103	1.0E-02		1.2E+06	
Ru-106	1.6E+00		1.9E+08	
Rh-103m	1.0E-02		1.2E+06	
Rh-106	1.6E+00		1.9E+08	
Ag-110m	5.6E-03		6.5E+05	
Cd-113m	1.8E-02		2.1E+06	
Cd-115m	6.4E-01		7.4E+07	
Sn-119m	1.7E-01		2.0E+07	
Sn-123	1.2E+00		1.4E+08	
Sn-126	2.7E-02		3.1E+06	
Sb-124	9.5E-03		1.1E+06	
Sb-125	3.3E-01		3.8E+07	
Te-123m	9.2E-03		1.1E+06	
Te-125m	3.3E-01		3.8E+07	
Te-127	3.2E-01		3.7E+07	
Te-127m	3.2E-01		3.7E+07	
Te-129	8.1E-02		9.4E+06	
Te-129m	3.2E-01		3.7E+07	
I-129	2.1E+00		2.4E+08	
Cs-134	4.5E-02		5.2E+06	
Cs-135	2.5E-06		2.9E+02	
Cs-136	3.0E-02		3.5E+06	
Cs-137	4.2E-01		4.9E+07	
Ba-137m	4.2E-01		4.9E+07	
Ba-140	9.5E-02		1.1E+07	
Ce-141	2.5E-02		2.9E+06	
Ce-144	6.3E-02		7.3E+06	
Pr-144	6.3E-02		7.3E+06	
Pr-144m	6.3E-02		7.3E+06	
Pm-146	9.8E-02		1.1E+07	
Pm-147	1.9E-01		2.2E+07	
Pm-148	5.0E-01		5.8E+07	
Pm-148m	8.4E-03		9.7E+05	
Sm-151	9.0E-04		1.0E+05	
Eu-152	2.8E-02		3.2E+06	
Eu-154	1.2E-02		1.4E+06	

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	年間排水量 (L)	年間放出量 (Bq)	備考
Eu-155	3.3E-02		3.8E+06	
Gd-153	3.2E-02		3.7E+06	
Tb-160	2.8E-02		3.2E+06	
Pu-238	6.3E-04		7.3E+04	
Pu-239	6.3E-04		7.3E+04	
Pu-240	6.3E-04		7.3E+04	
Pu-241	2.8E-02		3.2E+06	
Am-241	6.3E-04		7.3E+04	
Am-242m	3.9E-05		4.5E+03	
Am-243	6.3E-04		7.3E+04	
Cm-242	6.3E-04		7.3E+04	
Cm-243	6.3E-04		7.3E+04	
Cm-244	6.3E-04		7.3E+04	

表 6-1-2 実測値 (J1-C タンク群) の核種組成によるソースターム (年間放出量)

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	年間排水量 (L)	年間放出量 (Bq)	備考
H-3	8.2E+05	2.7E+07	2.2E+13	<ul style="list-style-type: none"> ・トリチウムの年間放出量は、年間放出量の上限值とした ・放出する際には、トリチウム濃度が 1,500Bq/L 未満となるよう、海水により 100 倍以上に希釈してから放出する
C-14	1.8E+01		4.8E+08	
Mn-54	3.8E-02		1.0E+06	
Fe-59	8.7E-02		2.3E+06	
Co-58	4.1E-02		1.1E+06	
Co-60	3.3E-01		8.9E+06	
Ni-63	8.5E+00		2.3E+08	
Zn-65	9.4E-02		2.5E+06	
Rb-86	5.0E-01		1.3E+07	
Sr-89	5.4E-02		1.4E+06	
Sr-90	3.6E-02		9.7E+05	
Y-90	3.6E-02		9.7E+05	
Y-91	1.7E+01		4.6E+08	
Nb-95	5.0E-02		1.3E+06	
Tc-99	1.2E+00		3.2E+07	
Ru-103	5.3E-02		1.4E+06	
Ru-106	1.4E+00		3.8E+07	
Rh-103m	5.3E-02		1.4E+06	
Rh-106	1.4E+00		3.8E+07	
Ag-110m	4.3E-02		1.2E+06	

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	年間排水量 (L)	年間放出量 (Bq)	備考
Cd-113m	8.5E-02		2.3E+06	
Cd-115m	2.7E+00		7.2E+07	
Sn-119m	4.2E+01		1.1E+09	
Sn-123	6.6E+00		1.8E+08	
Sn-126	2.9E-01		7.8E+06	
Sb-124	9.7E-02		2.6E+06	
Sb-125	2.3E-01		6.2E+06	
Te-123m	9.2E-02		2.5E+06	
Te-125m	2.3E-01		6.2E+06	
Te-127	4.7E+00		1.3E+08	
Te-127m	4.9E+00		1.3E+08	
Te-129	6.2E-01		1.7E+07	
Te-129m	1.4E+00		3.8E+07	
I-129	1.2E+00		3.2E+07	
Cs-134	7.6E-02		2.0E+06	
Cs-135	1.2E-06		3.2E+01	
Cs-136	4.7E-02		1.3E+06	
Cs-137	1.9E-01		5.1E+06	
Ba-137m	1.9E-01		5.1E+06	
Ba-140	2.0E-01		5.4E+06	
Ce-141	2.6E-01		7.0E+06	
Ce-144	5.7E-01		1.5E+07	
Pr-144	5.7E-01		1.5E+07	
Pr-144m	5.7E-01		1.5E+07	
Pm-146	6.7E-02		1.8E+06	
Pm-147	8.0E-01		2.1E+07	
Pm-148	2.3E-01		6.2E+06	
Pm-148m	4.8E-02		1.3E+06	
Sm-151	1.1E-02		3.0E+05	
Eu-152	2.8E-01		7.5E+06	
Eu-154	1.1E-01		3.0E+06	
Eu-155	3.4E-01		9.1E+06	
Gd-153	2.6E-01		7.0E+06	
Tb-160	1.4E-01		3.8E+06	
Pu-238	3.3E-02		8.9E+05	
Pu-239	3.3E-02		8.9E+05	
Pu-240	3.3E-02		8.9E+05	
Pu-241	1.2E+00		3.2E+07	
Am-241	3.3E-02		8.9E+05	

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	年間排水量 (L)	年間放出量 (Bq)	備考
Am-242m	5.9E-04		1.6E+04	
Am-243	3.3E-02		8.9E+05	
Cm-242	3.3E-02		8.9E+05	
Cm-243	3.3E-02		8.9E+05	
Cm-244	3.3E-02		8.9E+05	

表 6-1-3 実測値 (J1-G タンク群) の核種組成によるソースターム (年間放出量)

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	年間排水量 (L)	年間放出量 (Bq)	備考
H-3	2.7E+05	8.1E+07	2.2E+13	<ul style="list-style-type: none"> ・トリチウムの年間放出量は、年間放出量の上限值とした ・放出する際には、トリチウム濃度が1,500Bq/L未滿となるよう、海水により100倍以上に希釈してから放出する
C-14	1.6E+01		1.3E+09	
Mn-54	3.8E-02		3.1E+06	
Fe-59	7.2E-02		5.9E+06	
Co-58	3.7E-02		3.0E+06	
Co-60	2.3E-01		1.9E+07	
Ni-63	8.8E+00		7.2E+08	
Zn-65	8.0E-02		6.5E+06	
Rb-86	4.7E-01		3.8E+07	
Sr-89	4.5E-02		3.7E+06	
Sr-90	3.2E-02		2.6E+06	
Y-90	3.2E-02		2.6E+06	
Y-91	1.2E+01		9.8E+08	
Nb-95	4.7E-02		3.8E+06	
Tc-99	1.3E+00		1.1E+08	
Ru-103	5.1E-02		4.2E+06	
Ru-106	4.8E-01		3.9E+07	
Rh-103m	5.1E-02		4.2E+06	
Rh-106	4.8E-01		3.9E+07	
Ag-110m	4.0E-02		3.3E+06	
Cd-113m	8.6E-02		7.0E+06	
Cd-115m	2.3E+00		1.9E+08	
Sn-119m	4.0E+01		3.3E+09	
Sn-123	6.3E+00		5.1E+08	
Sn-126	1.5E-01		1.2E+07	
Sb-124	8.4E-02		6.8E+06	
Sb-125	1.4E-01		1.1E+07	
Te-123m	6.7E-02		5.5E+06	

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	年間排水量 (L)	年間放出量 (Bq)	備考
Te-125m	1.4E-01		1.1E+07	
Te-127	4.3E+00		3.5E+08	
Te-127m	4.5E+00		3.7E+08	
Te-129	5.9E-01		4.8E+07	
Te-129m	1.2E+00		9.8E+07	
I-129	3.3E-01		2.7E+07	
Cs-134	6.7E-02		5.5E+06	
Cs-135	2.1E-06		1.7E+02	
Cs-136	3.6E-02		2.9E+06	
Cs-137	3.3E-01		2.7E+07	
Ba-137m	3.3E-01		2.7E+07	
Ba-140	1.7E-01		1.4E+07	
Ce-141	1.2E-01		9.8E+06	
Ce-144	5.5E-01		4.5E+07	
Pr-144	5.5E-01		4.5E+07	
Pr-144m	5.5E-01		4.5E+07	
Pm-146	6.3E-02		5.1E+06	
Pm-147	7.2E-01		5.9E+07	
Pm-148	4.5E-01		3.7E+07	
Pm-148m	4.1E-02		3.3E+06	
Sm-151	1.0E-02		8.1E+05	
Eu-152	1.9E-01		1.5E+07	
Eu-154	1.0E-01		8.1E+06	
Eu-155	1.8E-01		1.5E+07	
Gd-153	1.9E-01		1.5E+07	
Tb-160	1.4E-01		1.1E+07	
Pu-238	2.8E-02		2.3E+06	
Pu-239	2.8E-02		2.3E+06	
Pu-240	2.8E-02		2.3E+06	
Pu-241	1.0E+00		8.1E+07	
Am-241	2.8E-02		2.3E+06	
Am-242m	5.1E-04		4.2E+04	
Am-243	2.8E-02		2.3E+06	
Cm-242	2.8E-02		2.3E+06	
Cm-243	2.8E-02		2.3E+06	
Cm-244	2.8E-02		2.3E+06	

(2) 放出後の拡散、移行のモデリング

①移行モデルの選定

海洋に放出された放射性物質の移行モデルとしては、GSG-10 や国内の事例等を参考に以下を選定した。選定の経緯等は、添付 VI「評価対象以外の移行経路、被ばく経路について」に記述した。

i. 海流等による移流、拡散

海洋放出することから、海洋での移流、拡散を選定した。

ii. 海流等による移流、拡散→船体への付着

海洋において、漁業等で船舶が航行することから、船体への付着を選定した。

iii. 海流等による移流、拡散→海底堆積物、海浜の砂への付着

海洋に放出後、海流等により放射性物質が移流、拡散し、海底堆積物や海浜の砂等へ移行すると考えられることから選定した。

iv. 海流等による移流、拡散→漁網への付着

海洋に放出後、海流等により放射性物質が移流、拡散し、周辺で使用される漁網への付着が考えられることから、漁網への移行を選定した。

v. 海流等による移流、拡散→水しぶきによる大気への再浮遊

海洋に放出後、海流等により放射性物質が移流、拡散し、海浜では波等による水しぶきが上がることから選定した。

vi. 海流等による移流、拡散→魚介類等海洋生物による取り込み、濃縮

海洋に放出後、海流等により放射性物質が移流、拡散し、魚介類に移行、濃縮されることから選定した。

②海域における移流、拡散の評価

海域における放射性物質の拡散計算には、領域海洋モデル「ROMS:Regional Ocean Modeling System」を一般財団法人電力中央研究所にて福島沖に適用したモデルを使用する。本モデルは、福島第一原子力発電所事故によって海洋に漏えいしたセシウムの拡散について、過去の実気象、海象のデータにより海水中セシウム濃度の再現計算を実施し、実測データとの比較によって再現性が高いことを確認した(Tsumune et al., 2020) [4]モデルであり、2020年3月24日公表の「多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会報告書を受けた当社の検討素案について」[17]でも使用している。このモデルを元に、放出地点および発電所港湾設備をより正確に設定するために、発電所近傍海

域を高解像度化したモデルにより濃度を計算した。高解像度化によって、福島第一原子力発電所事故によって漏えいした海水中セシウム濃度の再現性が向上することを確認している。拡散シミュレーションの妥当性については、添付 VII「拡散シミュレーションの妥当性について」にて考察を行った。

本報告書では、トリチウムを年間を通じて均等に 22 兆 Bq 放出した場合の海水中濃度を本モデルにより計算し、その他の核種はトリチウムとの年間放出量の比例計算で海水中濃度を求めた。

なお、本モデルでは、放出点を含むメッシュに放出率に相当するトリチウムを付加し、それがメッシュ内に瞬時に一様に広がることとなる。また、モデルの特性上、ALPS 処理水の海水希釈や、放水流速による混合希釈の促進効果も考慮していないことから、放水口付近では実際の放出における濃度分布と異なる可能性もあるが、放水口から離れた場所での拡散は、大きな違いは生じないものと考えられる。

この点は、添付 VIII「放水位置による拡散範囲の違いについて」に示した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からも確認できる。5, 6 号機放水口から表層放水した場合の 10km×10km の年間平均濃度は、沖合 1km 海底から放水した場合と 2 割程度の違いに過ぎない。

主な計算条件は次のとおり。

海域の流動データ

- ROMS の設定として流動・トレーサの移流項（流速によって移動を表す項）にはそれぞれ 3 次の風上差分、MPDATA を、調和型の粘性・拡散項には 4 次の中央差分を用いた。また水平粘性・拡散係数は $5.0 \text{ m}^2/\text{s}$ とした。鉛直粘性・拡散は、K-profile parameterization mixing (KPP) モデル (Large et al., 1994) を用い、鉛直粘性・拡散係数の下限値はそれぞれ $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ とした。
- 海表面の駆動力には、気象庁短期気象予測データ (JMA-GSM) をメソスケール気象モデル (Weather Research and Forecasting model(WRF), Skamarock, et al, 2008 [18]) を用いて内挿する短期気象予測システム (Numerical Weather Forecasting and Analysis System (NuWFAS), 橋本ら、2010) [19] による再解析結果 (風速・短波・長波・気圧・気温・湿度・降水量) を使用した。NuWFAS のアウトプットの時間解像度が 1 時間ごとであり、水平解像度が

5 km であるため、シミュレーションでは時間方向、水平方向に内挿した結果を与えた。

- 外洋の境界条件およびデータ同化（ナッジング）²⁷の元データとして、リアルタイムに更新されている海洋海流の再解析データ（Japan Coastal Ocean Prediction Experiment 2 (JCOPE2, Miyazawa et al., 2009)²⁸ [20]の結果（水温、塩分、海面高度）を使用した。
- 北方からの寒流である親潮、南方からの暖流である黒潮との混合域である福島沖は、中規模渦の影響も受けることから、外洋における中規模渦などの複雑な挙動を再現する目的で、シミュレーション結果を JCOPE2 による水温および塩分の再解析結果に緩和させるデータ同化（ナッジング）を適用した（緩和係数は1日の逆数）。
- 潮汐による駆動力は、開境界付近に潮位、潮汐楕円およびそれらの位相として、全球潮汐モデル（TPXO; Egbert and Erofeeva, 2002）の結果（8分潮: M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1）を内挿して設定した。TPXOの結果は0.25°×0.25°の解像度であるため、境界付近では岸近くの反射波の合成に伴う潮位振幅・位相が正しく設定出来ない可能性が高い。境界の潮汐成分を補正するため、気象庁の潮汐観測所地点（大船渡、鮎川、小名浜、銚子漁港）におけるシミュレーション結果についてそれぞれの潮汐成分を分解する調和解析を行い、潮位観測データと比較して、境界条件の潮位の大きさ・位相および潮流の大きさ・位相の調整を実施した。実際には、シミュレーション結果と観測結果の差をそれぞれの地点で平均し、その平均した差により調整した。

モデルの範囲（図 6-1-4 参照）

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

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 の赤と青のハッチが交錯した海域が 200m メッシュになるよう、青線と赤線に挟まれた海域を段階的に約 1km メッシュから高解像度化

²⁷ 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。

²⁸ JCOPE2：北西太平洋の黒潮・黒潮続流、親潮、中規模渦などの変動を見るために JAMSTEC が開発した海流予測モデル。

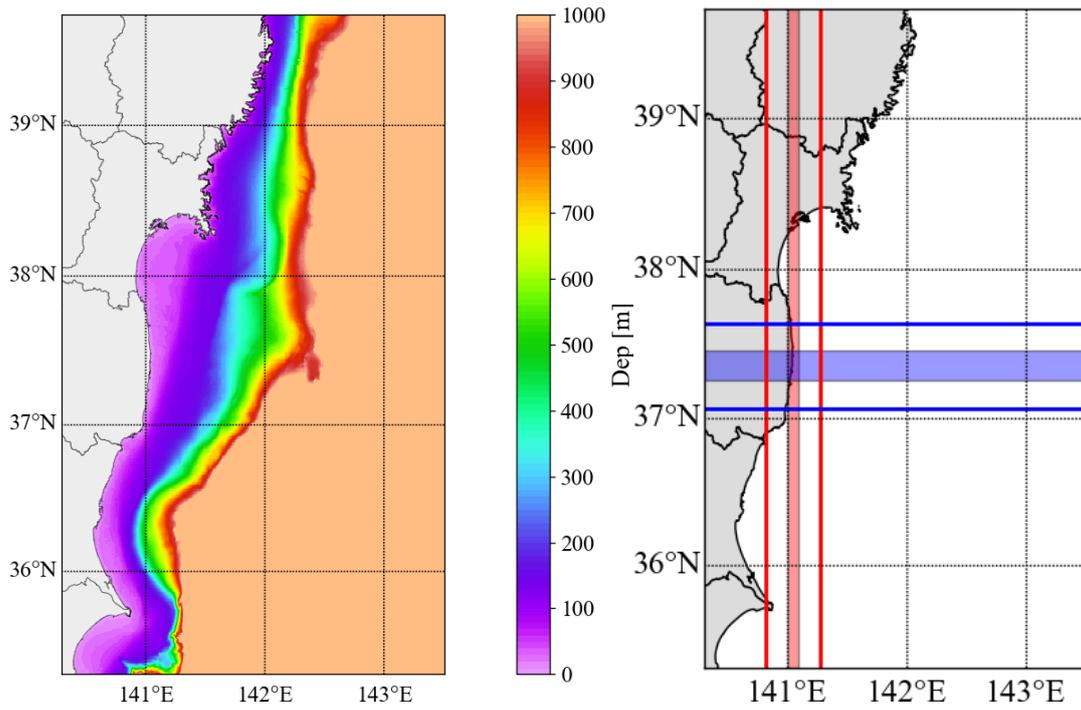


図 6-1-4 モデルの範囲と水深分布

(右図において、赤と青のハッチが交錯した海域を 200m メッシュに高解像度化)

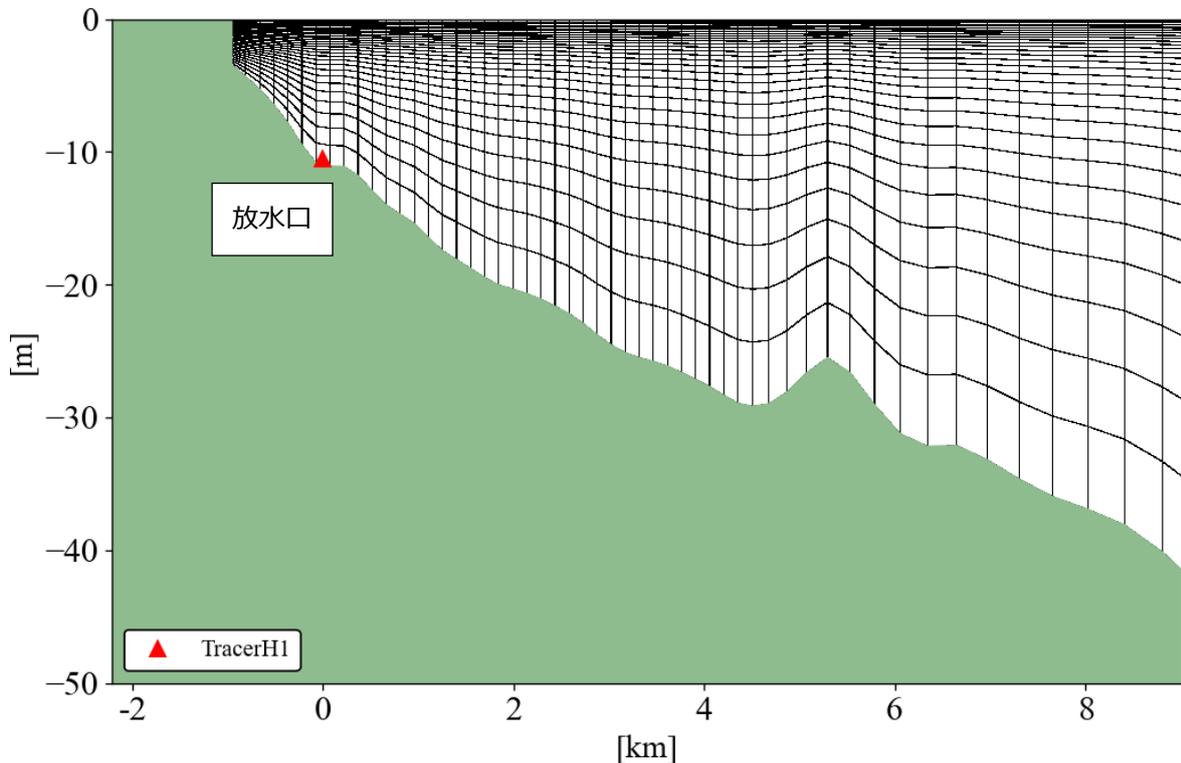


図 6-1-5 沖合 10km までの海底断面図とモデル上の鉛直分割

(3) 被ばく経路の設定

被ばく経路は、既往の評価および GSG-10 など²⁹を基に、外部被ばくとして 5 経路、内部被ばくとして 3 経路の合計 8 経路を選定した。選定の考え方は次のとおり。報告書改訂にあたって、後述する砂浜評価地点の明確化に伴い、砂浜に関連する経路として、海水の飲水としぶきの吸入を被ばく経路として追加した。

①海水面からの外部被ばく

船舶により海上を航行、あるいは海上にて作業を行う場合に、海水中の放射性物質からの放射線による外部被ばくを受けると考えられることから、被ばく経路として選定した。

②船体からの外部被ばく

船舶により海上を航行、あるいは海上にて作業を行う場合に、海水から船体（甲板）に移行した放射性物質からの放射線による外部被ばくを受けることが考えられるため、被ばく経路として選定した。

③遊泳等における水中での外部被ばく

遊泳等により、周囲の海水中の放射性物質からの放射線による外部被ばくを受けることが考えられるため、被ばく経路として選定した。

④海浜砂からの外部被ばく

砂浜では、海水から砂に移行した放射性物質からの放射線による外部被ばくを受けることが考えられるため、被ばく経路として選定した。

⑤漁網からの外部被ばく

漁業のため、海水中で漁網を使用することから、海水から漁網に放射性物質が移行し、それらの放射性物質からの放射線による外部被ばくを受けることが考えられるため、被ばく経路として選定した。

²⁹ 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)

⑥海水の飲水による内部被ばく

遊泳等により、海水を誤飲することで、海水中の放射性物質を摂取して内部被ばくを受けることが考えられるため、被ばく経路として選定した。

⑦海水の水しぶきの吸入による内部被ばく

砂浜では、波により海水が水しぶきとなって再浮遊し、呼吸により吸入することで海水中の放射性物質を摂取して内部被ばくを受けることが考えられるため、被ばく経路として選定した。

⑧海産物の摂取による内部被ばく

海水から海生動植物に放射性物質が移行、濃縮し、漁獲された海産物を摂取することで内部被ばくを受けることが考えられるため、被ばく経路として選定した。

以下に被ばく経路ごとの評価モデルおよびパラメータを示す。

a. 外部被ばく

①海水面からの外部被ばく

海上作業時に、海水中の放射性物質から受ける外部被ばくについて、図 6-1-6 に示すモデルによる評価を行う。

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(6-1-1)に示す。

$$D_1 = \sum_i (K_1)_i \cdot (x_1)_i \cdot t_1 \quad (6-1-1)$$

ここで、

$(K_1)_i$ は核種 i の海水面からの γ 線による実効線量換算係数((mSv/h)/(Bq/L))

$(x_1)_i$ 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)

である。

海水面からのγ線による実効線量換算係数³⁰は、廃止措置工事環境影響評価ハンドブック [21]（以下、「廃止措置ハンドブック」）の値を使用した。実効線量換算係数の算出は、点減衰核積分法を用いた簡易遮へい計算コード QAD-CGGP2 が使用されている。廃止措置ハンドブックに示されていない核種は、β・γ核種についてはCo-60、α核種についてはAm-243 とそれぞれ保守的に最も大きい値を用いた（表 6-1-5）。

評価に使用する海水中濃度、年間の被ばく時間は、代表的個人の特性にて設定する。

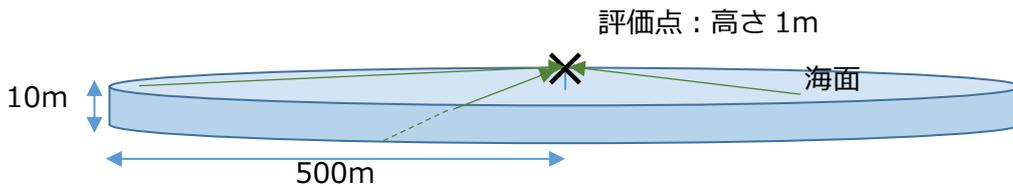


図 6-1-6 廃止措置ハンドブックにおける海面からの被ばく評価モデル

②船体からの外部被ばく

船による移動など海上作業時に、海水から船体に移行した放射性物質から受ける外部被ばくについて、図 6-1-7 に示すモデルによる評価を行う。

船体からの実効線量 D_2 (mSv/年)の計算式を式(6-1-2)、(6-1-3)に示す。

$$D_2 = \sum_i (K_2)_i \cdot (S_2)_i \cdot t_2 \quad (6-1-2)$$

$$(S_2)_i = (F_2)_i \cdot (x_2)_i \quad (6-1-3)$$

ここで、

$(K_2)_i$ は核種 i の船体からのγ線による実効線量換算係数((mSv/h)/(Bq/m²))

$(S_2)_i$ は核種 i の船体における汚染密度(Bq/m²)

t_2 は年間の被ばく時間(h/年)

$(F_2)_i$ は核種 i の海水中から船体の移行係数((Bq/m²)/(Bq/L))

$(x_2)_i$ は核種 i の海水中濃度(Bq/L)

である。

³⁰ ある放射性物質が 1Bq/L の濃度で海水に含まれる時、その海面上で作業する人がその海水中に含まれる放射性物質からの放射線による 1 時間あたり放射線量 (mSv/h) を図 6-1-6 のモデルで示したものの。

船体に付着した放射性物質からのγ線による実効線量換算係数³¹は、廃止措置ハンドブックの値を使用した。実効線量換算係数の算出は、点減衰核積分法を用いた簡易遮へい計算コード QAD-CGGP2 が使用されている。廃止措置ハンドブックに示されていない核種は、β・γ 核種については Co-60、α 核種については Am-243 とそれぞれ保守的に最も大きい値を用いた（表 6-1-6）。船体への移行係数³²は、「六ヶ所事業所再処理事業指定申請書」（日本原燃サービス、1989）[22]より $100((\text{Bq}/\text{m}^2)/(\text{Bq}/\text{L}))$ で海水中濃度と常に平衡状態であると仮定した。

評価に使用する海水中濃度、年間の被ばく時間は、代表的個人の実態にて設定する。

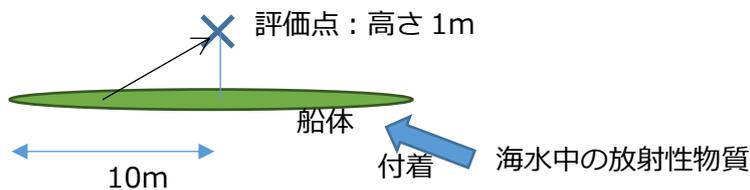


図 6-1-7 廃止措置ハンドブックにおける船体からの被ばく評価モデル

③遊泳等における水中での外部被ばく

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γ線による外部被ばくについて、サブマージョンモデル³³による評価を行う。

遊泳、海中作業時の海水からの放射線による実効線量 $D_3(\text{mSv}/\text{年})$ の計算式を式(6-1-4)に示す。

$$D_3 = \sum_i (K_3)_i \cdot (x_3)_i \cdot t_3 \quad (6-1-4)$$

ここで、

$(K_3)_i$ は核種 i の海水からのγ線による実効線量換算係数 $((\text{mSv}/\text{h})/(\text{Bq}/\text{L}))$

$(x_3)_i$ は核種 i の海水中濃度 (Bq/L)

t_3 は年間の遊泳時間 $(\text{h}/\text{年})$

³¹ 海水中から船体に移行した放射性物質が放出する放射線により、その船上で作業する人が受ける放射線量を、図 6-1-7 のモデルで評価し、船体に付着した放射性物質の付着密度に対する係数として示したものを。

³² 海水中に含まれる放射性物質の濃度が $1 \text{ Bq}/\text{L}$ であった場合に、その海水に接するものにどの程度の放射性物質が付着するのかを単位面積当たりの放射能で示したものを。

³³ 周囲を放射性物質に囲まれた状態で周囲の放射性物質からの放射線による被ばくを計算するモデル。

海水中からのγ線による実効線量換算係数は、廃止措置ハンドブックの値を使用した。廃止措置ハンドブックに示されていない核種は、β・γ核種についてはCo-60、α核種についてはAm-243とそれぞれ保守的に最も大きい値を用いた（表6-1-7）。

評価に使用する海水中濃度、年間の被ばく時間は、代表的個人の特性にて設定する。

④海浜砂からの外部被ばく

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、図6-1-8に示すモデルによる評価を行う。

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(6-1-5)に示す。

$$D_4 = \sum_i (K_4)_i \cdot (x_4)_i \cdot (F_4)_i \cdot t_4 \quad (6-1-5)$$

ここで、

$(K_4)_i$ は核種 i の海浜砂からのγ線による実効線量換算係数((mSv/h)/(Bq/kg))

$(x_4)_i$ 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)

海浜砂からのγ線による実効線量換算係数は、廃止措置ハンドブックの値を使用した。実効線量換算係数の算出は、点減衰核積分法を用いた簡易遮へい計算コードQAD-CGGP2が使用されている。廃止措置ハンドブックに示されていない核種は、β・γ核種についてはCo-60、α核種についてはAm-243とそれぞれ保守的に最も大きい値を用いた（表6-1-8）。砂浜への核種の移行係数は、「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」より、すべての核種について $1,000((\text{Bq/kg})/(\text{Bq/L}))$ で海水中濃度と常に平衡状態にあるとした。

評価に使用する海水中濃度、年間の被ばく時間は、代表的個人の特性にて設定する。

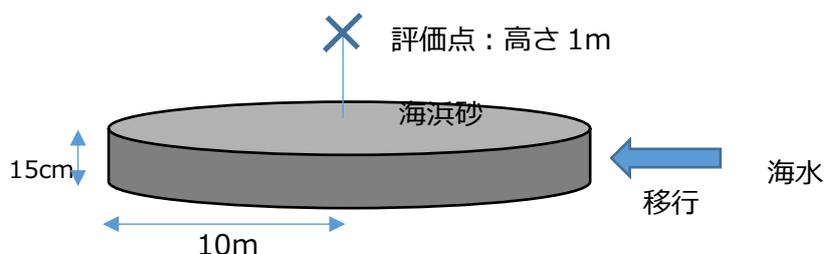


図 6-1-8 廃止措置ハンドブックにおける海浜砂からの被ばく評価モデル

⑤漁網からの外部被ばく

漁業に従事する際に、海水から放射性物質が漁網に移行し、その漁網を船上、あるいは陸上に置いた際に漁網に付着した放射性物質から受ける外部被ばくについて、図 6-1-9 に示すモデルにより評価を行う。

漁網に付着した放射性物質からの実効線量 D_5 (mSv/年)の計算式を式(6-1-6)、(6-1-7)に示す。

$$D_5 = \sum_i (K_5)_i \cdot (S_5)_i \cdot t_5 \quad (6-1-6)$$

$$(S_5)_i = (F_5)_i \cdot (x_5)_i \quad (6-1-7)$$

ここで、

$(K_5)_i$ は核種 i の漁網からの γ 線による実効線量換算係数((mSv/h)/(Bq/kg))

$(S_5)_i$ は漁網中の核種 i の濃度(Bq/kg)

t_5 は年間の被ばく時間(h/年)

$(F_5)_i$ は核種 i の海水から漁網への移行係数((Bq/kg)/(Bq/L))

$(x_5)_i$ は核種 i の海水中濃度(Bq/L)

実効線量換算係数は、廃止措置ハンドブックの値を使用した。実効線量換算係数の算出は、点減衰核積分法を用いた簡易遮へい計算コード QAD-CGGP2 が使用されている。廃止措置ハンドブックに示されていない核種は、 $\beta \cdot \gamma$ 核種については Co-60、 α 核種については Am-243 とそれぞれ保守的に最も大きい値を用いた(表 6-1-9)。漁網への移行係数は、「六ヶ所事業所再処理事業指定申請書」よりトリチウム以外のすべ

ての核種について 4,000((Bq/kg)/(Bq/L))で海水中濃度と常に平衡状態にあると仮定した。

評価に使用する海水中濃度、年間の被ばく時間は、代表的個人の特性にて設定する。

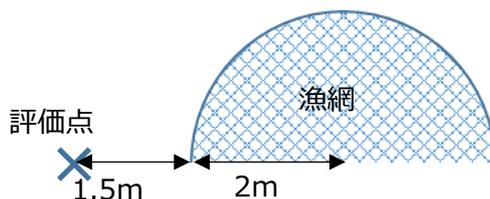


図 6-1-9 廃止措置ハンドブックにおける漁網からの被ばく評価モデル

b. 内部被ばく

⑥海水の飲水による内部被ばく

遊泳中は、誤って海水を飲んでしまうことが考えられることから、遊泳中の飲水による内部被ばくを評価する。

飲水により摂取した放射性物質からの預託実効線量 D_6 (mSv/年)の計算式を式(6-1-8)に示す。

$$D_6 = \sum_i t_6 \cdot Hs \cdot (x_6)_i \cdot (K_F^{50})_i \quad (6-1-8)$$

ここで、

t_6 は年間の遊泳時間(h/年)

Hs は遊泳中の海水摂取率であり、成人、幼児で 0.2L/h と保守的に設定

$(x_6)_i$ は核種 i の海水中濃度(Bq/L)

$(K_F^{50})_i$ は核種 i の経口摂取による預託実効線量係数(mSv/Bq)

経口摂取による預託実効線量係数は、IAEA No. GSR Part 3 “Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards”（以下、「GSR Part 3」） [13]の Table III.2D. “Members of the Public: Committed Effective Dose per Unit Intake e(g) via ingestion (Sv/Bq)”に定める係数を使用した（表 6-1-10）。

乳児は、遊泳を行うことはほとんどないことから、評価の対象外とした。

評価に使用する海水中濃度、年間の被ばく時間は、代表的個人の特性にて設定する。

⑦海水の水しぶきの吸入による内部被ばく

海浜においては、波による海水の水しぶきを吸入することが考えられることから、水しぶきの吸入による内部被ばくを評価する。評価手法は、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” [23]（以下、「TECDOC-1759」）を参考とした。

水しぶきの吸入により摂取した放射性物質からの預託実効線量 D_7 (mSv/年)の計算式を式(6-1-9)に示す。

$$D_7 = 10^3 \cdot \sum_i t_7 \cdot R_s \cdot \frac{C_s}{\rho_w} (x_7)_i \cdot (K_h^{50})_i \quad (6-1-9)$$

ここで、

t_7 は年間の海浜滞在時間(h/年)

R_s は呼吸率であり、原子力発電所の線量評価指針より、成人 $0.925\text{m}^3/\text{h}$ 、幼児 $0.363\text{m}^3/\text{h}$ 、乳児 $0.119\text{m}^3/\text{h}$ を使用

C_s は水しぶきの空気中濃度(kg/m^3)であり、TECDOC-1759 の推奨値 $1.0\text{E}-02\text{kg}/\text{m}^3$ を使用

ρ_w は海水の密度であり、 $1.0\text{E}+03\text{kg}/\text{m}^3$ を使用。

$(x_7)_i$ は核種 i の海水中濃度(Bq/L)

$(K_h^{50})_i$ は核種 i の吸入摂取による預託実効線量係数(mSv/Bq)

10^3 は単位の換算 ($10^3\text{L}/\text{m}^3$) による係数

吸入摂取による預託実効線量係数は、GSR Part 3 の Table III.2E. “Members of the Public: Committed Effective Dose per Unit Intake e(g) via inhalation (Sv/Bq)” に定める係数を使用した。トリチウムのみ Table III.2G. “Inhalation: Committed Effective Dose per Unit Intake e(g) (Sv/Bq) for soluble or reactive gases and vapours” に定める係数を使用した（表 6-1-11）。

評価に使用する海水中濃度、年間の被ばく時間は、代表的個人の特性にて設定する。

⑧海産物の摂取による内部被ばく

海水から海洋生物に移行した放射性物質を、海産物摂取に伴い体内に取り込むことによる内部被ばくについて評価を行う。

海産物摂取による預託実効線量 D_8 (mSv/年)の計算式を式(6-1-10)、(6-1-11)に示す。

$$D_8 = \sum_k \sum_i (K_F^{50})_i \cdot H_{ki} \quad (6-1-10)$$

$$H_{ki} = 365 \cdot 10^{-3} \cdot (x_8)_i \cdot (CF)_{ki} \cdot F_k \cdot W_k \cdot f_{ki} \quad (6-1-11)$$

ここで、

$(K_F^{50})_i$ は核種 i の経口摂取による預託実効線量係数(mSv/Bq)

H_{ki} は海産物 k の摂取を通じた核種 i の摂取率(Bq/年)

$(x_8)_i$ 核種 i の海水中濃度(Bq/L)

$(CF)_{ki}$ は核種 i の海産物 k に対する濃縮係数((Bq/kg)/(Bq/L))³⁴

F_k は市場希釈係数³⁵

W_k は海産物 k の摂取量(g/日)

f_{ki} は海産物 k の採取から摂取までの核種 i の減衰比

$365 \cdot 10^{-3}$ は単位の換算 (365 日/年、 10^{-3} kg/g) による係数

経口摂取による預託実効線量係数は、遊泳中の飲水と同じ (表 6-1-10) である。

海産物の濃縮係数³⁶は、IAEA Technical Reports Series No.422 "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment" [24] (以下、「TRS-422」) および UCRL-50564 Rev.1 "CONCENTRATION FACTORS OF CHEMICAL ELEMENTS IN EDIBLE AQUATIC ORGANISMS" [25] (以下、「UCRL-50564 Rev.1」) に定める係数を使用した (表 6-1-12)。

³⁴ 海洋生物 (原則可食部) 中放射性核種濃度 (湿重量当たり) の、生息している環境海水中放射性核種濃度に対する関係を示す便宜的な係数で、生物への移行評価モデルで用いられる (IAEA, 2004)。

³⁵ 一般的に、食料がすべて地場産品であることは非常にまれであり、考慮している放射性物質の放出の影響の及ばない他所で漁獲・収穫されたものが併せて流通する。実施しようとしている放射性物質の環境放出の影響は、これによって軽減されることになるため、どの程度の割合 (市場希釈係数) で摂取されるのかを食品別に設定して評価を行うこととされているが、本評価では保守的に市場希釈は考慮せず、すべて当該海域で漁獲されたものとして評価している。

³⁶ 放射性物質を含む海水中に長期間生息する生物の体内には、元素の種類に応じて放射性物質が取り込まれ、ある濃度で平衡に達する。この時の周辺環境の海水中放射性物質濃度と体内におけるある放射性物質の平衡濃度との比をいう。

実際には他産地からの海産物の市場流通により発生するはずの市場希釈、海産物の採取から摂取までの核種の減衰は、保守性確保の観点から考慮しないこととした。

評価に使用する海水中濃度、年間の被ばく時間は、代表的個人の特性にて設定する。

表 6-1-5 海水面からの放射線による実効線量換算係数
(廃止措置ハンドブック [21]、それ以外は備考に付記)

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/L))	備考
H-3	0.0E+00	純β核種であるため0とした
C-14	0.0E+00	純β核種であるため0とした
Mn-54	1.7E-07	
Fe-59	3.2E-11	
Co-58	2.0E-07	
Co-60	5.0E-07	
Ni-63	0.0E+00	純β核種であるため0とした
Zn-65	1.2E-07	
Rb-86	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sr-89	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sr-90	1.6E-09	
Y-90	—	親核種 Sr-90 に含まれる
Y-91	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Nb-95	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Tc-99	1.5E-11	
Ru-103	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ru-106	4.5E-08	
Rh-103m	—	親核種 Ru-103 に含まれる
Rh-106	—	親核種 Ru-106 に含まれる
Ag-110m	5.0E-07	保守的に Co-60 と同じ値とした
Cd-113m	7.4E-11	
Cd-115m	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-119m	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-123	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-126	1.1E-08	
Sb-124	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/L))	備考
Sb-125	8.7E-08	
Te-123m	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-125m	6.6E-09	
Te-127	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-127m	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-129	–	親核種 Te-129m に含まれる
Te-129m	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
I-129	4.6E-09	
Cs-134	3.1E-07	
Cs-135	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cs-136	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cs-137	1.2E-07	
Ba-137m	–	親核種 Cs-137 に含まれる
Ba-140	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ce-141	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ce-144	1.3E-08	
Pr-144	–	親核種 Ce-144 に含まれる
Pr-144m	–	親核種 Ce-144 に含まれる
Pm-146	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pm-147	8.2E-12	
Pm-148	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pm-148m	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sm-151	1.7E-12	
Eu-152	2.3E-07	
Eu-154	2.5E-07	
Eu-155	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/L))	備考
Gd-153	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Tb-160	5.0E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pu-238	4.7E-11	
Pu-239	2.6E-11	
Pu-240	4.6E-11	
Pu-241	2.9E-08	
Am-241	4.6E-09	
Am-242m	3.1E-09	
Am-243	4.4E-08	
Cm-242	4.8E-11	
Cm-243	4.4E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Am-243 と同じ値とした
Cm-244	4.5E-11	

**表 6-1-6 船体からの放射線による実効線量換算係数
(廃止措置ハンドブック [21]、それ以外は備考に付記)**

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/m ²))	備考
H-3	0.0E+00	純β核種であるため 0 とした
C-14	0.0E+00	純β核種であるため 0 とした
Mn-54	1.4E-09	
Fe-59	4.2E-12	
Co-58	1.6E-09	
Co-60	3.5E-09	
Ni-63	0.0E+00	純β核種であるため 0 とした
Zn-65	1.0E-09	
Rb-86	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sr-89	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sr-90	5.8E-11	
Y-90	—	親核種 Sr-90 に含まれる
Y-91	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/m ²))	備考
Nb-95	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Tc-99	2.8E-12	
Ru-103	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ru-106	4.0E-10	
Rh-103m	—	親核種 Ru-103 に含まれる
Rh-106	—	親核種 Ru-106 に含まれる
Ag-110m	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cd-113m	7.2E-12	
Cd-115m	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-119m	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-123	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-126	2.3E-10	
Sb-124	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sb-125	8.3E-10	
Te-123m	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-125m	4.4E-10	
Te-127	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-127m	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-129	—	親核種 Te-129m に含まれる
Te-129m	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
I-129	3.0E-10	
Cs-134	2.4E-09	
Cs-135	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cs-136	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cs-137	9.5E-10	
Ba-137m	—	親核種 Cs-137 に含まれる

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/m ²))	備考
Ba-140	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ce-141	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ce-144	1.6E-10	
Pr-144	–	親核種 Ce-144 に含まれる
Pr-144m	–	親核種 Ce-144 に含まれる
Pm-146	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pm-147	1.9E-12	
Pm-148	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pm-148m	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sm-151	8.7E-13	
Eu-152	1.8E-09	
Eu-154	1.8E-09	
Eu-155	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Gd-153	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Tb-160	3.5E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pu-238	1.1E-10	
Pu-239	3.9E-11	
Pu-240	1.0E-10	
Pu-241	7.7E-10	
Am-241	2.0E-10	
Am-242m	8.3E-10	
Am-243	1.1E-09	
Cm-242	1.1E-10	
Cm-243	1.1E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Am-243 と同じ値とした
Cm-244	1.0E-10	

表 6-1-7 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
(廃止措置ハンドブック [21]、それ以外は備考に付記)

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/L))	備考
H-3	0.0E+00	
C-14	0.0E+00	
Mn-54	4.8E-07	
Fe-59	6.8E-07	
Co-58	4.7E-07	
Co-60	1.4E-06	
Ni-63	0.0E+00	
Zn-65	3.3E-07	
Rb-86	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sr-89	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sr-90	7.2E-13	
Y-90	—	親核種 Sr-90 に含まれる
Y-91	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Nb-95	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Tc-99	4.0E-13	
Ru-103	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ru-106	1.2E-07	
Rh-103m	—	親核種 Ru-103 に含まれる
Rh-106	—	親核種 Ru-106 に含まれる
Ag-110m	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cd-113m	4.2E-11	
Cd-115m	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-119m	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-123	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-126	3.2E-08	

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/L))	備考
Sb-124	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sb-125	2.5E-07	
Te-123m	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-125m	2.0E-08	
Te-127	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-127m	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-129	—	親核種 Te-129m に含まれる
Te-129m	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
I-129	1.4E-08	
Cs-134	9.0E-07	
Cs-135	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cs-136	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cs-137	3.4E-07	
Ba-137m	—	親核種 Cs-137 に含まれる
Ba-140	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ce-141	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ce-144	2.8E-08	
Pr-144	—	親核種 Ce-144 に含まれる
Pr-144m	—	親核種 Ce-144 に含まれる
Pm-146	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pm-147	2.5E-12	
Pm-148	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pm-148m	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sm-151	8.3E-12	
Eu-152	6.6E-07	
Eu-154	6.4E-07	

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/L))	備考
Eu-155	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Gd-153	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Tb-160	1.4E-06	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pu-238	1.1E-09	
Pu-239	5.2E-10	
Pu-240	9.9E-10	
Pu-241	8.1E-08	
Am-241	1.9E-08	
Am-242m	1.4E-08	
Am-243	1.4E-07	
Cm-242	1.1E-09	
Cm-243	1.4E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Am-243 と同じ値とした
Cm-244	9.0E-10	

表 6-1-8 海浜砂からの放射線による実効線量換算係数

(「廃止措置工事環境影響ハンドブック」 [21]、それ以外は備考に付記)

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/kg))	備考
H-3	0.0E+00	純β核種であるため 0 とした
C-14	0.0E+00	純β核種であるため 0 とした
Mn-54	1.6E-07	
Fe-59	1.6E-11	
Co-58	1.9E-07	
Co-60	4.7E-07	
Ni-63	0.0E+00	純β核種であるため 0 とした
Zn-65	1.1E-07	
Rb-86	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sr-89	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sr-90	1.2E-09	
Y-90	-	親核種 Sr-90 に含まれる

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/kg))	備考
Y-91	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Nb-95	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Tc-99	6.3E-12	
Ru-103	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ru-106	4.3E-08	
Rh-103m	—	親核種 Ru-103 に含まれる
Rh-106	—	親核種 Ru-106 に含まれる
Ag-110m	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cd-113m	4.1E-11	
Cd-115m	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-119m	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-123	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-126	5.2E-09	
Sb-124	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sb-125	8.3E-08	
Te-123m	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-125m	1.9E-09	
Te-127	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-127m	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-129	—	親核種 Te-129m に含まれる
Te-129m	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
I-129	1.3E-09	
Cs-134	3.1E-07	
Cs-135	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cs-136	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/kg))	備考
Cs-137	1.2E-07	
Ba-137m	—	親核種 Cs-137 に含まれる
Ba-140	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ce-141	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ce-144	1.0E-08	
Pr-144	—	親核種 Ce-144 に含まれる
Pr-144m	—	親核種 Ce-144 に含まれる
Pm-146	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pm-147	3.5E-12	
Pm-148	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pm-148m	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sm-151	6.3E-13	
Eu-152	2.1E-07	
Eu-154	2.3E-07	
Eu-155	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Gd-153	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Tb-160	4.7E-07	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pu-238	3.6E-11	
Pu-239	2.1E-11	
Pu-240	3.5E-11	
Pu-241	2.0E-08	
Am-241	1.7E-09	
Am-242m	2.0E-09	
Am-243	3.1E-08	
Cm-242	3.7E-11	
Cm-243	3.1E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Am-243 と同じ値とした
Cm-244	3.6E-11	

表 6-1-9 漁網からの放射線による実効線量換算係数

(「廃止措置工事環境影響ハンドブック」 [21]、その他は備考に付記)

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/kg))	備考
H-3	0.0E+00	純β核種であるため0とした
C-14	0.0E+00	純β核種であるため0とした
Mn-54	3.2E-08	
Fe-59	2.2E-12	
Co-58	3.7E-08	
Co-60	9.9E-08	
Ni-63	0.0E+00	純β核種であるため0とした
Zn-65	2.3E-08	
Rb-86	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sr-89	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sr-90	2.1E-10	
Y-90	—	親核種 Sr-90 に含まれる
Y-91	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Nb-95	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Tc-99	7.9E-13	
Ru-103	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ru-106	8.2E-09	
Rh-103m	—	親核種 Ru-103 に含まれる
Rh-106	—	親核種 Ru-106 に含まれる
Ag-110m	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cd-113m	5.9E-12	
Cd-115m	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-119m	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-123	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sn-126	7.0E-10	

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/kg))	備考
Sb-124	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sb-125	1.5E-08	
Te-123m	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-125m	2.3E-10	
Te-127	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-127m	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Te-129	—	親核種 Te-129m に含まれる
Te-129m	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
I-129	1.6E-10	
Cs-134	5.9E-08	
Cs-135	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cs-136	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Cs-137	2.2E-08	
Ba-137m	—	親核種 Cs-137 に含まれる
Ba-140	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ce-141	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Ce-144	2.0E-09	
Pr-144	—	親核種 Ce-144 に含まれる
Pr-144m	—	親核種 Ce-144 に含まれる
Pm-146	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pm-147	4.2E-13	
Pm-148	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pm-148m	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Sm-151	5.8E-14	
Eu-152	4.3E-08	
Eu-154	4.7E-08	

核種	実効線量換算係数 ((mSv/h)/(Bq/kg))	備考
Eu-155	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Gd-153	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Tb-160	9.9E-08	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Co-60 と同じ値とした
Pu-238	1.7E-12	
Pu-239	1.9E-12	
Pu-240	1.8E-12	
Pu-241	3.1E-09	
Am-241	2.1E-10	
Am-242m	2.7E-10	
Am-243	4.8E-09	
Cm-242	1.8E-12	
Cm-243	4.8E-09	出典元で数値が与えられていない核種であるため、保守的に Am-243 と同じ値とした
Cm-244	2.1E-12	

表 6-1-10 経口摂取による実効線量係数 (GSR Part 3 [13])

対象 核種	実効線量係数 (mSv/Bq)			備考
	成人	幼児	乳児	
H-3 (THO)	1.8E-08	3.1E-08	6.4E-08	飲水の評価に使用
H-3 (OBT 考慮)	2.0E-08	3.5E-08	7.0E-08	摂取するトリチウムの 10%が OBT と仮定、海産物摂取の評価に使用
C-14	5.8E-07	9.9E-07	1.4E-06	
Mn-54	7.1E-07	1.9E-06	5.4E-06	
Fe-59	1.8E-06	7.5E-06	3.9E-05	
Co-58	7.4E-07	2.6E-06	7.3E-06	
Co-60	3.4E-06	1.7E-05	5.4E-05	
Ni-63	1.5E-07	4.6E-07	1.6E-06	
Zn-65	3.9E-06	9.7E-06	3.6E-05	
Rb-86	2.8E-06	9.9E-06	3.1E-05	
Sr-89	2.6E-06	8.9E-06	3.6E-05	
Sr-90	2.8E-05	4.7E-05	2.3E-04	子孫核種の影響を含む
Y-90	2.7E-06	1.0E-05	3.1E-05	

対象核種	実効線量係数 (mSv/Bq)			備考
	成人	幼児	乳児	
Y-91	2.4E-06	8.8E-06	2.8E-05	
Nb-95	5.8E-07	1.8E-06	4.6E-06	
Tc-99	6.4E-07	2.3E-06	1.0E-05	
Ru-103	7.3E-07	2.4E-06	7.1E-06	子孫核種の影響を含む
Ru-106	7.0E-06	2.5E-05	8.4E-05	子孫核種の影響を含む
Rh-103m	3.8E-09	1.3E-08	4.7E-08	
Rh-106	—	—	—	半減期が十分短い（約 30 秒）ので 単独での取り込みは考慮しない
Ag-110m	2.8E-06	7.8E-06	2.4E-05	
Cd-113m	2.3E-05	3.9E-05	1.2E-04	
Cd-115m	3.3E-06	9.7E-06	4.1E-05	
Sn-119m	3.4E-07	1.3E-06	4.1E-06	
Sn-123	2.1E-06	7.8E-06	2.5E-05	
Sn-126	4.7E-06	1.6E-05	5.0E-05	
Sb-124	2.5E-06	8.4E-06	2.5E-05	
Sb-125	1.1E-06	3.4E-06	1.1E-05	
Te-123m	1.4E-06	4.9E-06	1.9E-05	
Te-125m	8.7E-07	3.3E-06	1.3E-05	
Te-127	1.7E-07	6.2E-07	1.5E-06	
Te-127m	2.3E-06	9.5E-06	4.1E-05	
Te-129	6.3E-08	2.1E-07	7.5E-07	
Te-129m	3.0E-06	1.2E-05	4.4E-05	子孫核種の影響を含む
I-129	1.1E-04	1.7E-04	1.8E-04	
Cs-134	1.9E-05	1.3E-05	2.6E-05	
Cs-135	2.0E-06	1.7E-06	4.1E-06	
Cs-136	3.0E-06	6.1E-06	1.5E-05	
Cs-137	1.3E-05	9.6E-06	2.1E-05	子孫核種の影響を含む
Ba-137m	—	—	—	半減期が十分短い（約 2.6 分）ので 単独での取り込みは考慮しない
Ba-140	2.6E-06	9.2E-06	3.2E-05	
Ce-141	7.1E-07	2.6E-06	8.1E-06	
Ce-144	5.2E-06	1.9E-05	6.6E-05	子孫核種の影響を含む
Pr-144	5.0E-08	1.7E-07	6.4E-07	

対象核種	実効線量係数 (mSv/Bq)			備考
	成人	幼児	乳児	
Pr-144m	—	—	—	半減期が十分短い（約 7.2 分）ので 単独での取り込みは考慮しない
Pm-146	9.0E-07	2.8E-06	1.0E-05	
Pm-147	2.6E-07	9.6E-07	3.6E-06	
Pm-148	2.7E-06	9.7E-06	3.0E-05	
Pm-148m	1.7E-06	5.5E-06	1.5E-05	
Sm-151	9.8E-08	3.3E-07	1.5E-06	
Eu-152	1.4E-06	4.1E-06	1.6E-05	
Eu-154	2.0E-06	6.5E-06	2.5E-05	
Eu-155	3.2E-07	1.1E-06	4.3E-06	
Gd-153	2.7E-07	9.4E-07	2.9E-06	
Tb-160	1.6E-06	5.4E-06	1.6E-05	
Pu-238	2.3E-04	3.1E-04	4.0E-03	
Pu-239	2.5E-04	3.3E-04	4.2E-03	
Pu-240	2.5E-04	3.3E-04	4.2E-03	
Pu-241	4.8E-06	5.5E-06	5.6E-05	
Am-241	2.0E-04	2.7E-04	3.7E-03	
Am-242m	1.9E-04	2.3E-04	3.1E-03	
Am-243	2.0E-04	2.7E-04	3.6E-03	
Cm-242	1.2E-05	3.9E-05	5.9E-04	
Cm-243	1.5E-04	2.2E-04	3.2E-03	
Cm-244	1.2E-04	1.9E-04	2.9E-03	

表 6-1-11 吸入摂取による実効線量係数 (GSR Part 3 [13])

対象核種	実効線量係数 (mSv/Bq)			備考
	成人	幼児	乳児	
H-3	1.8E-08	3.1E-08	6.4E-08	トリチウム蒸気の換算係数を使用
C-14	5.8E-06	1.1E-05	1.9E-05	
Mn-54	1.5E-06	3.8E-06	7.5E-06	
Fe-59	4.0E-06	8.1E-06	2.1E-05	
Co-58	2.1E-06	4.5E-06	9.0E-06	
Co-60	3.1E-05	5.9E-05	9.2E-05	

対象核種	実効線量係数 (mSv/Bq)			備考
	成人	幼児	乳児	
Ni-63	1.3E-06	2.7E-06	4.8E-06	
Zn-65	2.2E-06	5.7E-06	1.5E-05	
Rb-86	9.3E-07	3.4E-06	1.2E-05	
Sr-89	7.9E-06	1.7E-05	3.9E-05	
Sr-90	1.6E-04	2.7E-04	4.2E-04	子孫核種の影響を含む
Y-90	1.5E-06	4.2E-06	1.3E-05	
Y-91	8.9E-06	1.9E-05	4.3E-05	
Nb-95	1.8E-06	3.6E-06	7.7E-06	
Tc-99	1.3E-05	2.4E-05	4.1E-05	
Ru-103	3.0E-06	6.0E-06	1.3E-05	子孫核種の影響を含む
Ru-106	6.6E-05	1.4E-04	2.6E-04	子孫核種の影響を含む
Rh-103m	2.7E-09	6.7E-09	2.0E-08	
Rh-106	—	—	—	半減期が十分短い（約 30 秒）ので 単独での取り込みは考慮しない
Ag-110m	1.2E-05	2.6E-05	4.6E-05	
Cd-113m	1.1E-04	1.8E-04	3.0E-04	
Cd-115m	7.7E-06	1.7E-05	4.6E-05	
Sn-119m	2.2E-06	4.7E-06	1.0E-05	
Sn-123	8.1E-06	1.8E-05	4.0E-05	
Sn-126	2.8E-05	6.2E-04	1.2E-04	
Sb-124	8.6E-06	1.8E-05	3.9E-05	
Sb-125	1.2E-05	2.4E-05	4.2E-05	
Te-123m	5.1E-06	9.8E-06	2.0E-05	
Te-125m	4.2E-06	7.8E-06	1.7E-05	
Te-127	1.4E-07	3.9E-07	1.2E-06	
Te-127m	9.8E-06	2.0E-05	4.1E-05	
Te-129	3.9E-08	1.0E-07	3.5E-07	
Te-129m	7.9E-06	1.7E-05	3.8E-05	子孫核種の影響を含む
I-129	3.6E-05	6.1E-05	7.2E-05	
Cs-134	2.0E-05	4.1E-05	7.0E-05	
Cs-135	8.6E-06	1.6E-05	2.7E-05	
Cs-136	2.8E-06	6.0E-06	1.5E-05	
Cs-137	3.9E-05	7.0E-05	1.1E-04	子孫核種の影響を含む

対象核種	実効線量係数 (mSv/Bq)			備考
	成人	幼児	乳児	
Ba-137m	-	-	-	半減期が十分短い (約 2.6 分) ので単独での取り込みは考慮しない
Ba-140	5.8E-06	1.2E-05	2.9E-05	
Ce-141	3.8E-06	7.1E-06	1.6E-05	
Ce-144	5.3E-05	1.4E-04	3.6E-04	子孫核種の影響を含む
Pr-144	1.8E-08	5.2E-08	1.9E-07	
Pr-144m	-	-	-	半減期が十分短い (約 7.2 分) ので単独での取り込みは考慮しない
Pm-146	2.1E-05	3.9E-05	6.4E-05	
Pm-147	5.0E-06	1.1E-05	2.1E-05	
Pm-148	2.2E-06	5.5E-06	1.5E-05	
Pm-148m	5.7E-06	1.2E-05	2.5E-05	
Sm-151	4.0E-06	6.7E-06	1.1E-05	
Eu-152	4.2E-05	7.0E-05	1.1E-04	
Eu-154	5.3E-05	9.7E-05	1.6E-04	
Eu-155	6.9E-06	1.4E-05	2.6E-05	
Gd-153	2.1E-06	6.5E-06	1.5E-05	
Tb-160	7.0E-06	1.5E-05	3.2E-05	
Pu-238	1.1E-01	1.4E-01	2.0E-01	
Pu-239	1.2E-01	1.5E-01	2.1E-01	
Pu-240	1.2E-01	1.5E-01	2.1E-01	
Pu-241	2.3E-03	2.6E-03	2.8E-03	
Am-241	9.6E-02	1.2E-01	1.8E-01	
Am-242m	9.2E-02	1.1E-01	1.6E-01	
Am-243	9.6E-02	1.2E-01	1.8E-01	
Cm-242	5.9E-03	1.2E-02	2.7E-02	
Cm-243	6.9E-02	9.5E-02	1.6E-01	
Cm-244	5.7E-02	8.3E-02	1.5E-01	

表 6-1-12 海産物に対する濃縮係数 (TRS-422 [24]、それ以外は備考に付記)

対象核種	濃縮係数 ((Bq/kg) / (Bq/L))			備考
	魚類	無脊椎動物	海藻	
H-3	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	

対象核種	濃縮係数 ((Bq/kg) / (Bq/L))			備考
	魚類	無脊椎動物	海藻	
C-14	2.0E+04	2.0E+04	1.0E+04	
Mn-54	1.0E+03	5.0E+04	6.0E+03	
Fe-59	3.0E+04	5.0E+05	2.0E+04	
Co-58	7.0E+02	2.0E+04	6.0E+03	
Co-60	7.0E+02	2.0E+04	6.0E+03	
Ni-63	1.0E+03	2.0E+03	2.0E+03	
Zn-65	1.0E+03	8.0E+04	2.0E+03	
Rb-86	9.0E+00	1.7E+01	1.7E+01	UCRL-50564 Rev.1 より引用
Sr-89	3.0E+00	1.0E+01	1.0E+01	
Sr-90	3.0E+00	1.0E+01	1.0E+01	
Y-90	—	—	—	親核種 Sr-90 と平衡状態とする
Y-91	2.0E+01	1.0E+03	1.0E+03	
Nb-95	3.0E+01	1.0E+03	3.0E+03	
Tc-99	8.0E+01	5.0E+02	3.0E+04	
Ru-103	2.0E+00	5.0E+02	2.0E+03	
Ru-106	2.0E+00	5.0E+02	2.0E+03	
Rh-103m	—	—	—	親核種 Ru-103 と平衡状態とする
Rh-106	—	—	—	親核種 Ru-106 と平衡状態とする
Ag-110m	1.0E+04	6.0E+04	5.0E+03	
Cd-113m	5.0E+03	8.0E+04	2.0E+04	
Cd-115m	5.0E+03	8.0E+04	2.0E+04	
Sn-119m	5.0E+05	5.0E+05	2.0E+05	
Sn-123	5.0E+05	5.0E+05	2.0E+05	
Sn-126	5.0E+05	5.0E+05	2.0E+05	
Sb-124	6.0E+02	3.0E+02	2.0E+01	
Sb-125	6.0E+02	3.0E+02	2.0E+01	
Te-123m	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	
Te-125m	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	
Te-127	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	
Te-127m	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	
Te-129	—	—	—	親核種 Te-129m と平衡状態とする
Te-129m	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	
I-129	9.0E+00	1.0E+01	1.0E+04	
Cs-134	1.0E+02	6.0E+01	5.0E+01	
Cs-135	1.0E+02	6.0E+01	5.0E+01	
Cs-136	1.0E+02	6.0E+01	5.0E+01	
Cs-137	1.0E+02	6.0E+01	5.0E+01	
Ba-137m	—	—	—	親核種 Cs-137 と平衡状態とする

対象核種	濃縮係数 ((Bq/kg) / (Bq/L))			備考
	魚類	無脊椎動物	海藻	
Ba-140	1.0E+01	1.0E+01	7.0E+01	
Ce-141	5.0E+01	2.0E+03	5.0E+03	
Ce-144	5.0E+01	2.0E+03	5.0E+03	
Pr-144	—	—	—	親核種 Ce-144 と平衡状態とする
Pr-144m	—	—	—	親核種 Ce-144 と平衡状態とする
Pm-146	3.0E+02	7.0E+03	3.0E+03	
Pm-147	3.0E+02	7.0E+03	3.0E+03	
Pm-148	3.0E+02	7.0E+03	3.0E+03	
Pm-148m	3.0E+02	7.0E+03	3.0E+03	
Sm-151	3.0E+02	7.0E+03	3.0E+03	
Eu-152	3.0E+02	7.0E+03	3.0E+03	
Eu-154	3.0E+02	7.0E+03	3.0E+03	
Eu-155	3.0E+02	7.0E+03	3.0E+03	
Gd-153	3.0E+02	7.0E+03	3.0E+03	
Tb-160	6.0E+01	3.0E+03	2.0E+03	
Pu-238	1.0E+02	3.0E+03	4.0E+03	
Pu-239	1.0E+02	3.0E+03	4.0E+03	
Pu-240	1.0E+02	3.0E+03	4.0E+03	
Pu-241	1.0E+02	3.0E+03	4.0E+03	
Am-241	1.0E+02	1.0E+03	8.0E+03	
Am-242m	1.0E+02	1.0E+03	8.0E+03	
Am-243	1.0E+02	1.0E+03	8.0E+03	
Cm-242	1.0E+02	1.0E+03	5.0E+03	
Cm-243	1.0E+02	1.0E+03	5.0E+03	
Cm-244	1.0E+02	1.0E+03	5.0E+03	

※無脊椎動物としては、軟体動物（頭足類を除く）の値を使用した。

(4) 被ばく評価の対象となる代表的個人の設定

① 発電所周辺の状況

GSG-9によれば、一部の被ばく経路に対する代表的個人に関する生活習慣および特性は、生活習慣データ分布からもっとも高い群（例えば95パーセンタイル値）などを使用すべきとの記述が見られる。

しかし、福島第一原子力発電所周辺の地域では、図6-1-10に示すとおり、事故により設定された帰還困難区域、さらには発電所の陸側を取り囲むように設置される中間貯蔵施設などによって、これら区域内には一般の人が居住できないよう措置が取られている。加えて、福島県下で行われる漁業は、いまだ復興の途上にある。

このような状況は、今後帰還困難区域解除およびそれに伴う居住制限の緩和等によって徐々に改善されていくと考えられ、現時点でのデータに基づいて判断を行うことは将来予測としては好ましくないことから、現時点の状況下における実データに基づく評価は行わないこととし、それらに代わるものとして、既往の原子炉施設の安全審査等に用いられたものを用いて評価を行うこととした。

なお、今後この地域の復興が進み、代表的個人に関する生活習慣および特性に関する現実のデータが積みあがっていく中で、その採否について検討を行う。



出典：経済産業省原子力被災者支援
(避難指示関係) 帰還困難区域周辺地図
(R2.12.10～) をもとに東京電力ホールディングス株式会社に作成
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/kinkyu.html>

図6-1-10 福島第一原子力発電所周辺の帰還困難区域等の状況

② 代表的個人の特性

被ばく評価の対象となる代表的個人の特性は、「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」等より以下のとおり設定した。

- ・ 漁業に年間 120 日（2,880 時間）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。

海産物の摂取量は、最新の日本国民全体の食品摂取に関する大規模調査結果である、厚生労働省の「令和元年（2019 年）国民健康・栄養調査報告」³⁷の食品群別摂取量データから、魚介類と魚介加工品および藻類の摂取量を抽出し、魚類（魚介類（貝類、いか、たこ類、えび・かに類を除く）と魚介加工品の合計）、無脊椎動物（貝類、いか、たこ類、えび、かに類の合計）、海藻類（藻類）に分類して設定した。海産物の摂取量は、以下の 2 ケースについて、3 つの年齢別グループ（成人、幼児、乳児）を考慮して評価を行うこととした。

i. 海産物を平均的に摂取する個人

20 歳以上の平均摂取量を成人の値とし、幼児（5 歳を想定）、乳児（1 歳を想定）は「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」 [26]より成人のそれぞれ 1/2、1/5 の摂取量とした。

ii. 海産物を多く摂取する個人

20 歳以上の平均摂取量に標準偏差の 2 倍を加えた値を成人の値とし、幼児、乳児は成人の 1/2、1/5 とした。

設定した海産物の摂取量を表 6-1-13 および 6-1-14 に示す。

なお、外部被ばくについては、ICRP Publication 101a “Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public” [27]にて、「環境における外部被ばくに関しては、年齢による単位被ばく当たりの線量にはほとんど変動性がないことが一般に認められている。」とあることから、年齢別グループを設定しない。

³⁷ 令和 2 年（2020 年）および同 3 年（2021 年）は、新型コロナウイルス感染症の影響で調査自体が中止されている。

被ばくに係わる評価地点および評価に使用する海水濃度は、以下のとおりとした。

i. 海水面からの外部被ばく、および船体からの外部被ばく

発電所周辺の最寄りの漁港は、南北ともに発電所から 5km 以上離れた場所にある。漁業は、漁港から船舶により出港し、漁港を中心に発電所周辺を含めた海域で広く行われるが、評価にあたっては、保守的に発電所南北 5km、沖合 10km（発電所周辺 10km×10km の範囲（図 6-1-11））の範囲で行われるものとし、評価に使用する海水濃度は、日常的に漁業が行われていないエリア内も含めた発電所周辺 10km×10km 圏内の海表面（最上層）の年間平均濃度とした。

ii. 遊泳等における海水からの外部被ばく、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

これらはすべて、砂浜滞在時の被ばくとして想定した。発電所周辺の海岸は、帰還困難区域となっており、中間貯蔵施設も設置されているが、北側の居住可能なエリアには、砂浜が広がっている。そのため、評価地点を発電所北側の最寄りの砂浜とし、評価に使用する海水濃度は、砂浜前の海水（全層）の年間平均濃度とした。

iii. 漁網からの外部被ばく、および海産物摂取による内部被ばく

海水から漁網へは、漁業を行う際に放射性物質が移行することが考えられる。また、魚は漁業によって捕獲され、海産物として食卓に届けられる。そのため、評価点の考え方は i. と同じく保守的に発電所周辺 10km×10km の漁業が範囲内のみで行われるものとするが、魚は表層から底層まで分布すること、漁網は捕獲対象とする魚に合わせた深さで使用することから、評価に使用する海水濃度は 10km×10km 圏内の海水（全層）の年間平均濃度とした。

具体的な海水中濃度の計算方法は、6-1-3.(1)～(3)に示す。

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



* 共同漁業権非設定区域

図 6-1-11 通常時の被ばく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）および経済産業省原子力被災者支援（避難指示関係）帰還困難区域周辺地図（R2.12.10～）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>

(5) 線量評価の方法

6-1-2.(3)で設定した評価方法により被ばく計算を行う。

計算結果については、一般公衆の線量限度 1mSv/年と、4.(1)に示したとおり、線量拘束値に相当するものと原子力規制委員会が認めたものとして、国内の原子力発電所に対する線量目標値 0.05mSv/年との比較を行う。

6-1-3. 評価結果

(1) 拡散シミュレーション結果

6-1-2.(2)に示したモデルを用いて、発電所沖合約 1km の海底から、年間 22 兆 Bq ($2.2E+13$ Bq) のトリチウムを、年間を通じて均等に放出し続ける条件で、移流、拡散による海水中トリチウム濃度の計算を実施した。気象、海象条件は、2014 年および 2019 年の 2 年分実施した。2 年間の結果に大きな違いはないが、発電所周辺の平均濃度が相対的に高い 2019 年の気象、海象条件による計算結果を評価に使用することとした。計算結果を図 6-1-12～6-1-16 に示す。図 6-1-12 は広域の海表面の年間平均濃度、図 6-1-13 は発電所周辺の海表面の年間平均濃度を図示したものである。海表面で 1 Bq/L を超える濃度範囲は、発電所周辺の 3km 範囲程度となっている。

図 6-1-14、図 6-1-15 は、海中の年間平均濃度を東西方向、南北方向の断面で図示したものであり、海底の放水地点付近では評価セルの保有水量が大きいことから 30Bq/L 程度と評価され、周辺では速やかに濃度が低下している。

図 6-1-16 は、四季ごとの海表面の平均濃度分布を示したものである。海表面で 1 Bq/L を超える濃度範囲は、図 6-1-12 に比べて季節によるばらつきが見られるものの、発電所周辺に留まっている。

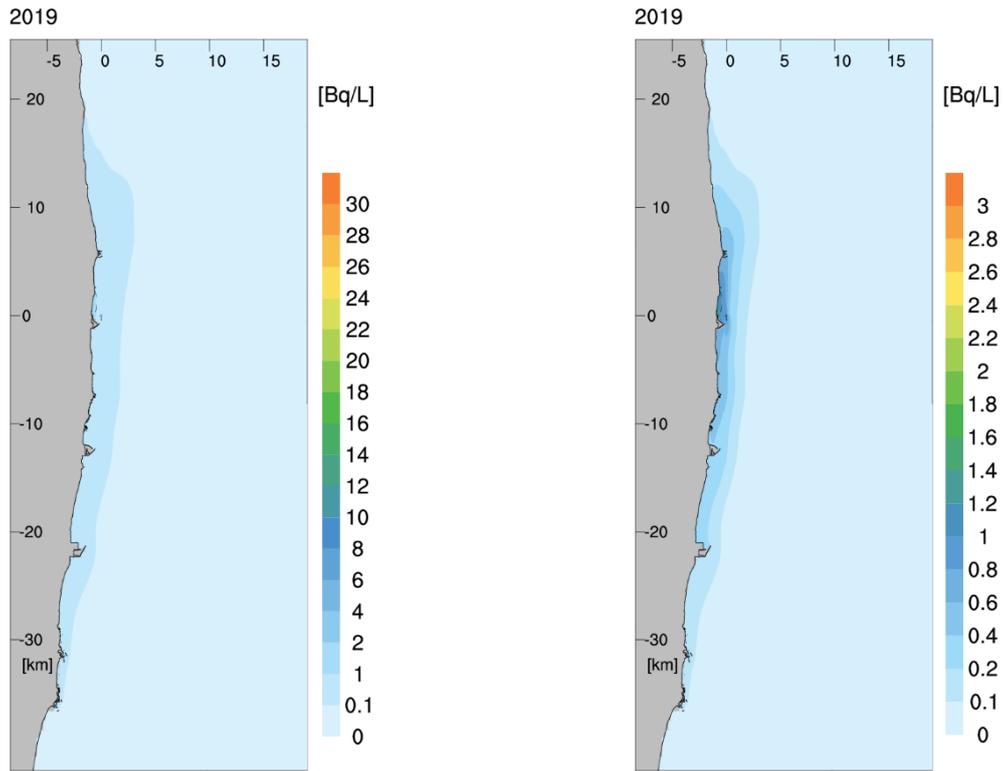
図 6-1-17、図 6-1-18 は、年間を通じた海表面の日平均濃度分布のうち、それぞれ最も北に拡がる場合、南に拡がる場合、東に拡がる場合を図示したものである。

放出方法の検討において比較検討していた沿岸からの放出との計算結果の比較を添付 VIII 「放水位置における拡散範囲の違いについて」に示した。

なお、年ごとの気象、海象データのばらつきによる影響を確認するため、2015 年～2018 年および 2020 年の気象、海象データを使用してシミュレーション計算を実施した。2014 年～2020 年までの 7 年間の計算結果を、表 6-1-15 および図 6-1-19 に示す。7 年間の計算は 1 年ごとに計算したものであり、7 年間連続で計算したものではないが、海域の流れは日々変化し、蓄積するような傾向は見られない。一方で、発電所周辺 10km×10km の範囲の平均濃度や拡散範囲の年変動は小さく、2019 年の計算結果を長期的な評価に使用することに問題はないものとする。

また、上記 7 年間の計算結果から、計算領域境界部の濃度について確認したところ、計算領域の境界における日平均濃度の最大値は $1.0E-02$ Bq/L であった。また、年間平均濃度の最大値は、領域の東側境界部で最大で $1.6E-04$ Bq/L (2015 年、最上層) であった。この濃度は、日本周辺海域における海水中トリチウム濃度 (0.1～1Bq/L 程度) と比較して 3～4

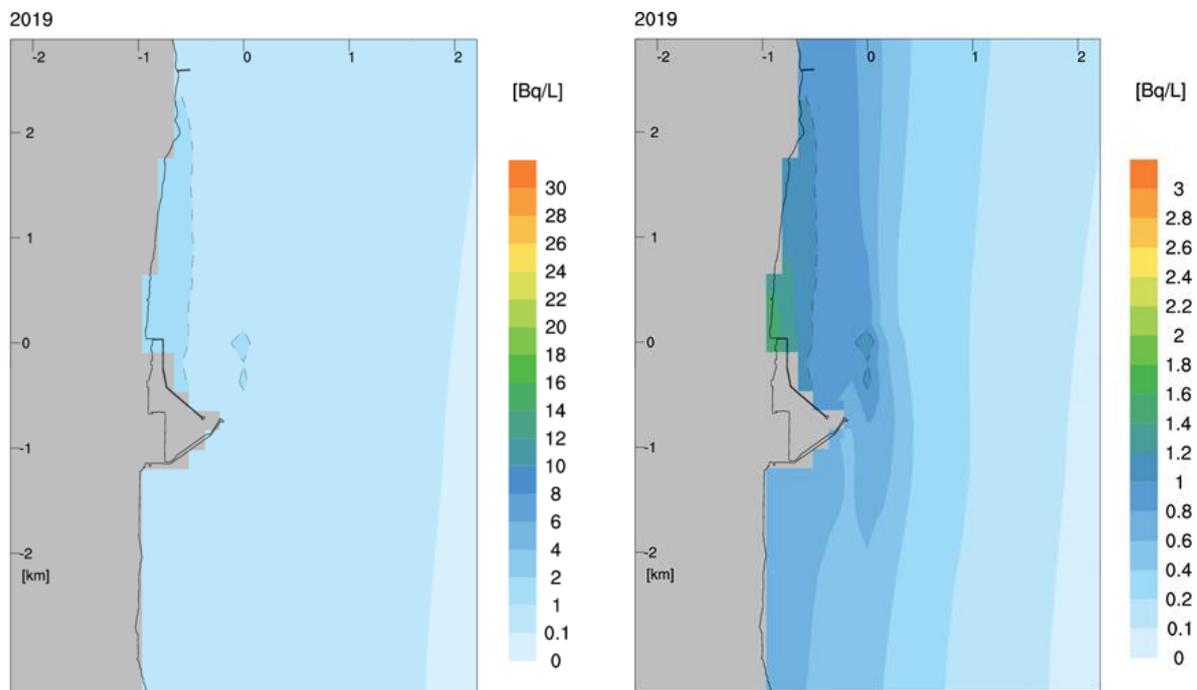
桁小さいこと、発電所周辺 10km×10km の評価結果と比較しても 2～3 桁小さく、また年ごとの濃度の大きなばらつきも見られないことから、計算領域の大きさは十分であり、本評価の計算領域の外側における放射線影響は十分小さい。表 6-1-16 に評価年ごとのモデル境界における最大濃度を示す。



左図の濃度区分を詳細にしたもの

図 6-1-12 海表面の年間平均濃度分布図

(トリチウム $2.2E+13Bq$ を年間を通じて均等に放出)



左図の濃度区分を詳細にしたもの

図 6-1-13 海表面の年間平均濃度分布図 (近傍拡大図)

(トリチウム $2.2E+13Bq$ を年間を通じて均等に放出)

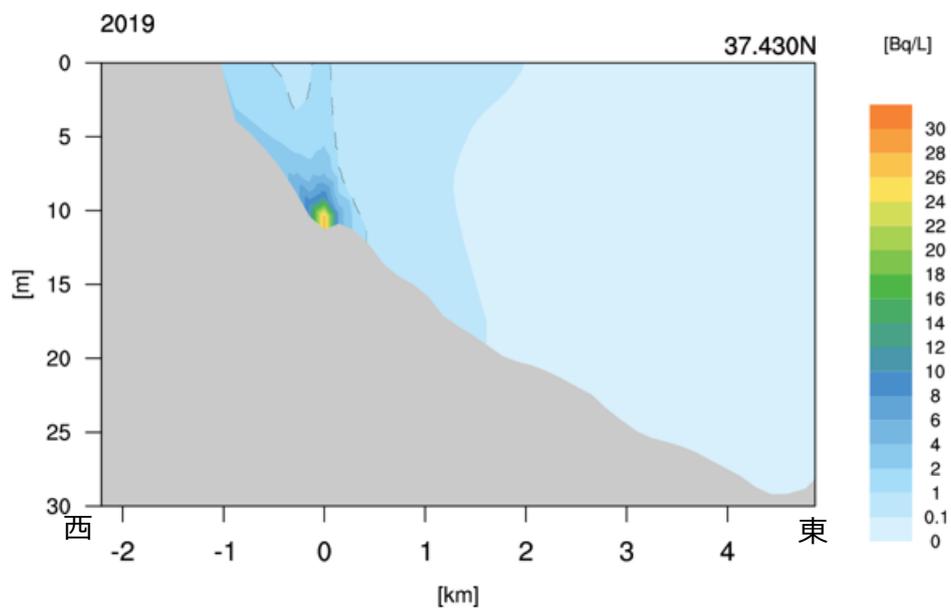


図 6-1-14 海中の年間平均濃度分布図（放水位置東西断面）
 （トリチウム $2.2E+13Bq$ を年間を通じて均等に放出）

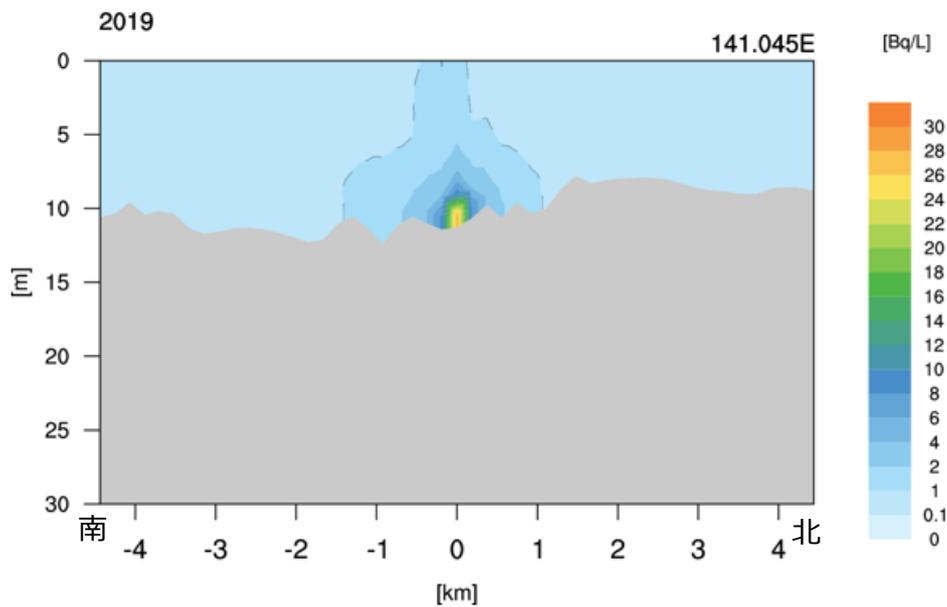
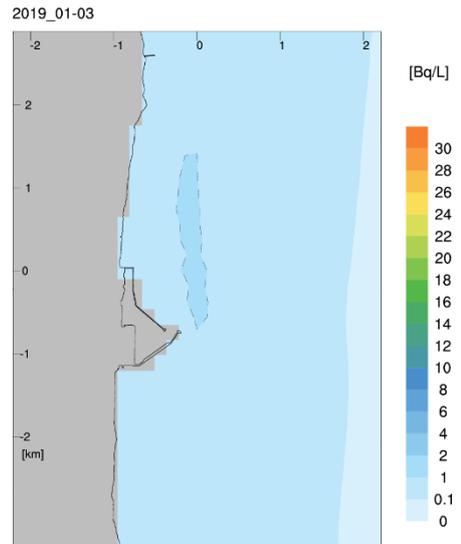
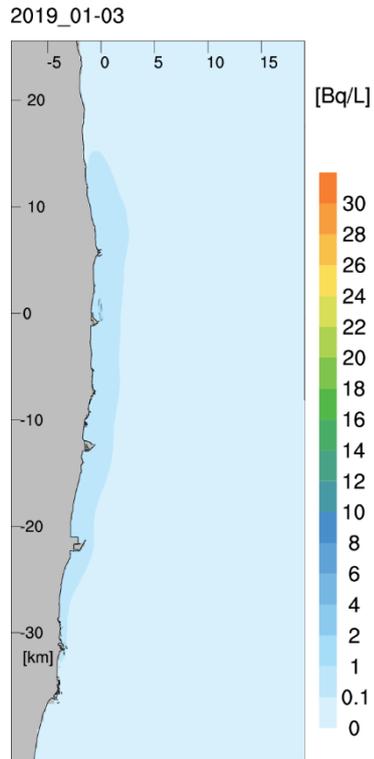
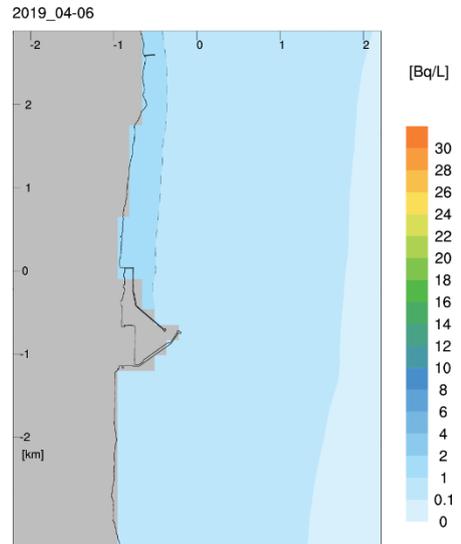
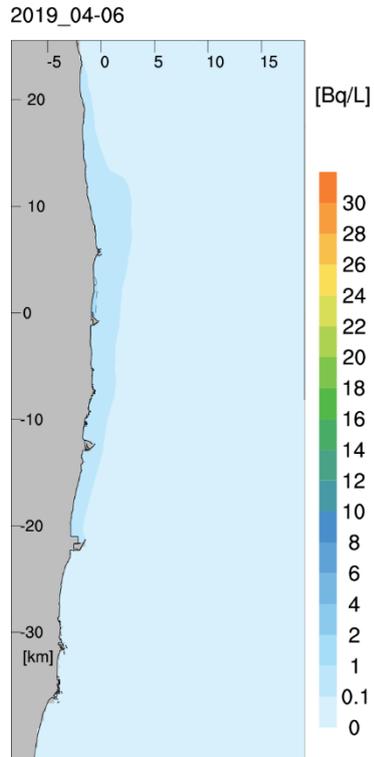


図 6-1-15 海中の年間平均濃度分布図（放水位置南北断面）
 （トリチウム $2.2E+13Bq$ を年間を通じて均等に放出）



左図の発電所周辺を拡大したもの

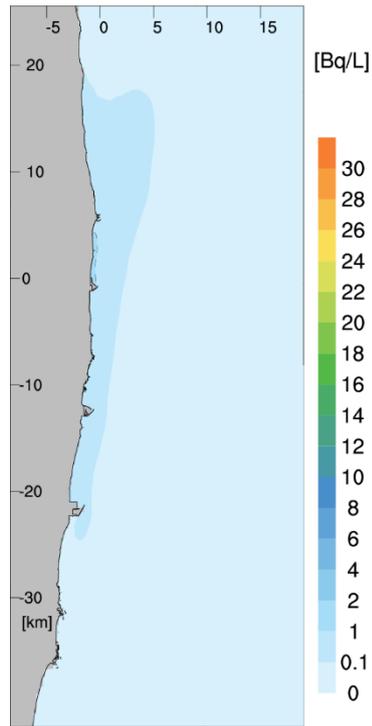
図 6-1-16(1) 季節ごとの海表面の平均濃度分布図
(1-3月平均)



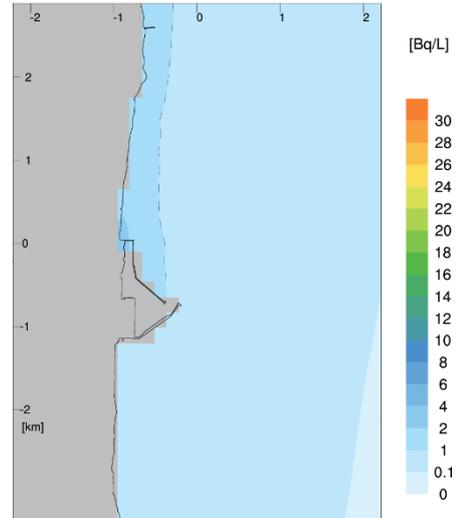
左図の発電所周辺を拡大したもの

図 6-1-16(2) 季節ごとの海表面の平均濃度分布図
(4-6月平均)

2019_07-09



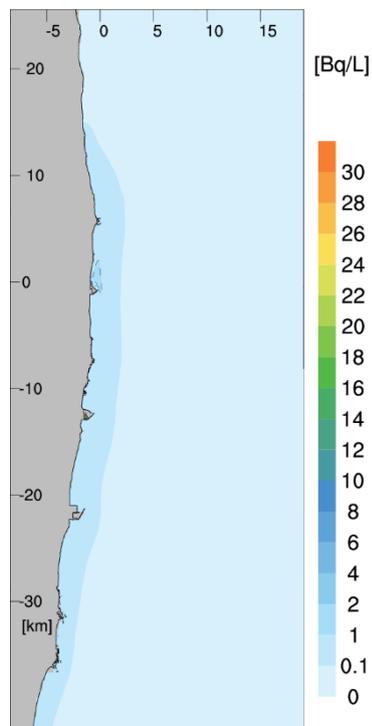
2019_07-09



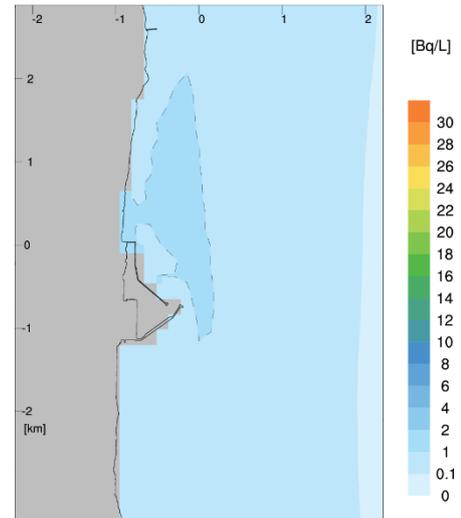
左図の発電所周辺を拡大したもの

図 6-1-16(3) 季節ごとの海表面の平均濃度分布図
(7-9月平均)

2019_10-12



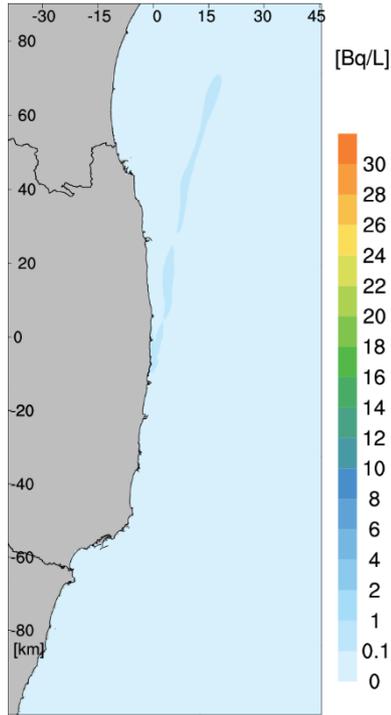
2019_10-12



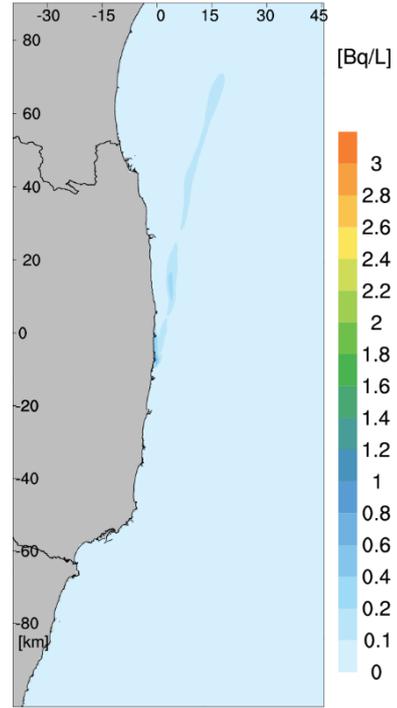
左図の発電所周辺を拡大したもの

図 6-1-16(4) 季節ごとの海表面の平均濃度分布図
(10-12月平均)

20190827



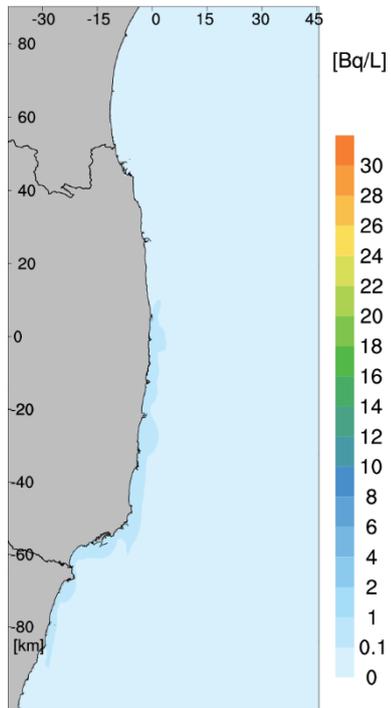
20190827



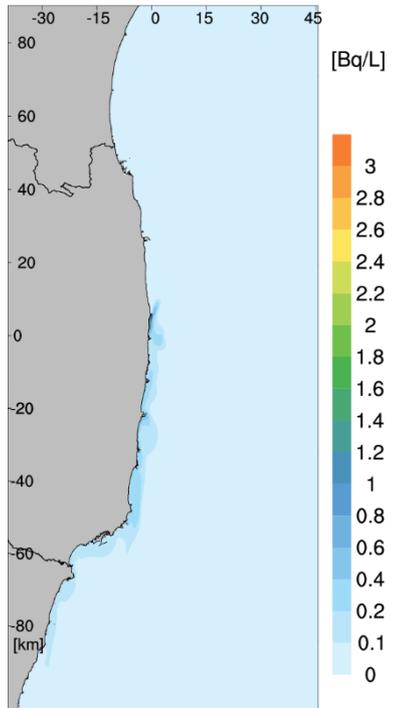
左図の濃度区分を詳細にしたもの

図 6-1-17(1) 海表面の日平均濃度分布図
(0.1Bq/L の範囲が最も北に広がる場合)

20191027



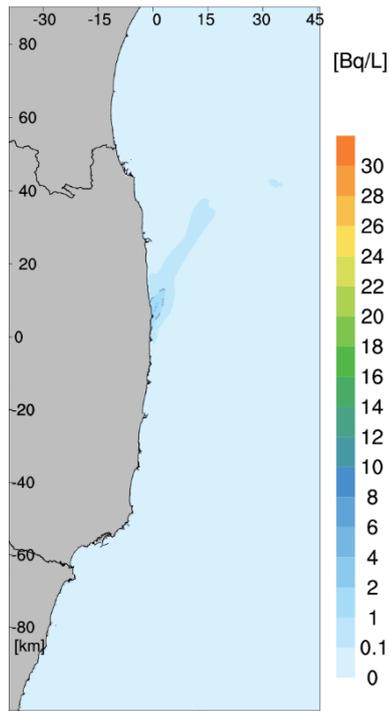
20191027



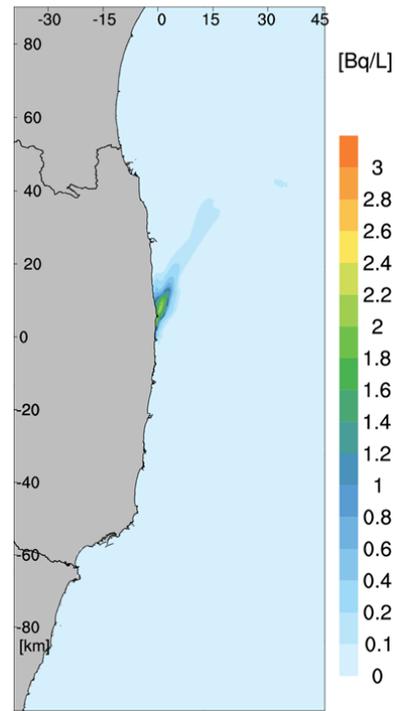
左図の濃度区分を詳細にしたもの

図 6-1-17(2) 海表面の日平均濃度分布図
(0.1Bq/L の範囲が最も南に広がる場合)

20190806



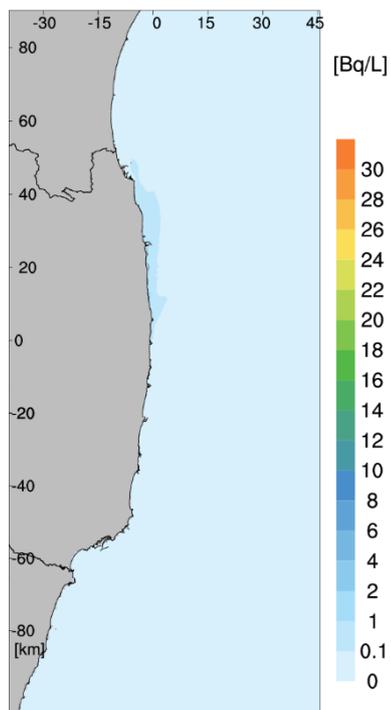
20190806



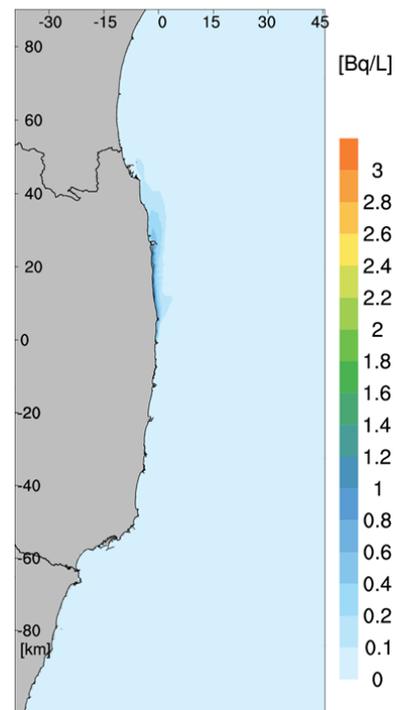
左図の濃度区分を詳細にしたもの

図 6-1-17(3) 海表面の日平均濃度分布図
(0.1Bq/L の範囲が最も東に広がる場合)

20190521



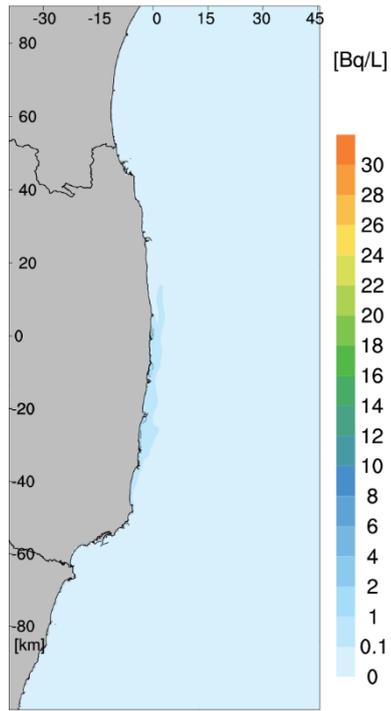
20190521



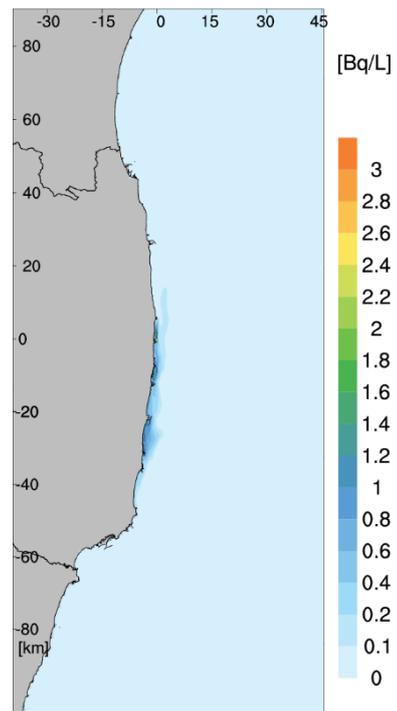
左図の濃度区分を詳細にしたもの

図 6-1-18(1) 海表面の日平均濃度分布図
(1Bq/L の範囲が最も北に広がる場合)

20190211



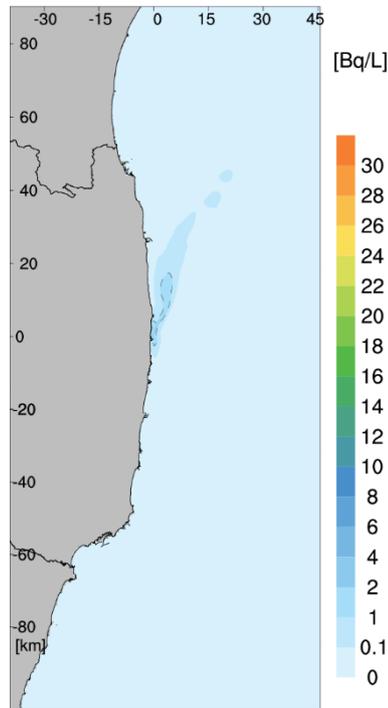
20190211



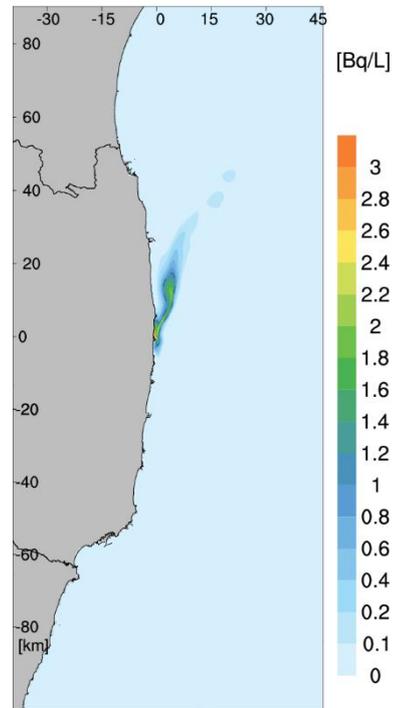
左図の濃度区分を詳細にしたもの

図 6-1-18(2) 海表面の日平均濃度分布図
(1Bq/L の範囲が最も南に広がる場合)

20190829



20190829



左図の濃度区分を詳細にしたもの

図 6-1-18(3) 海表面の日平均濃度分布図
(1Bq/L の範囲が最も東に広がる場合)

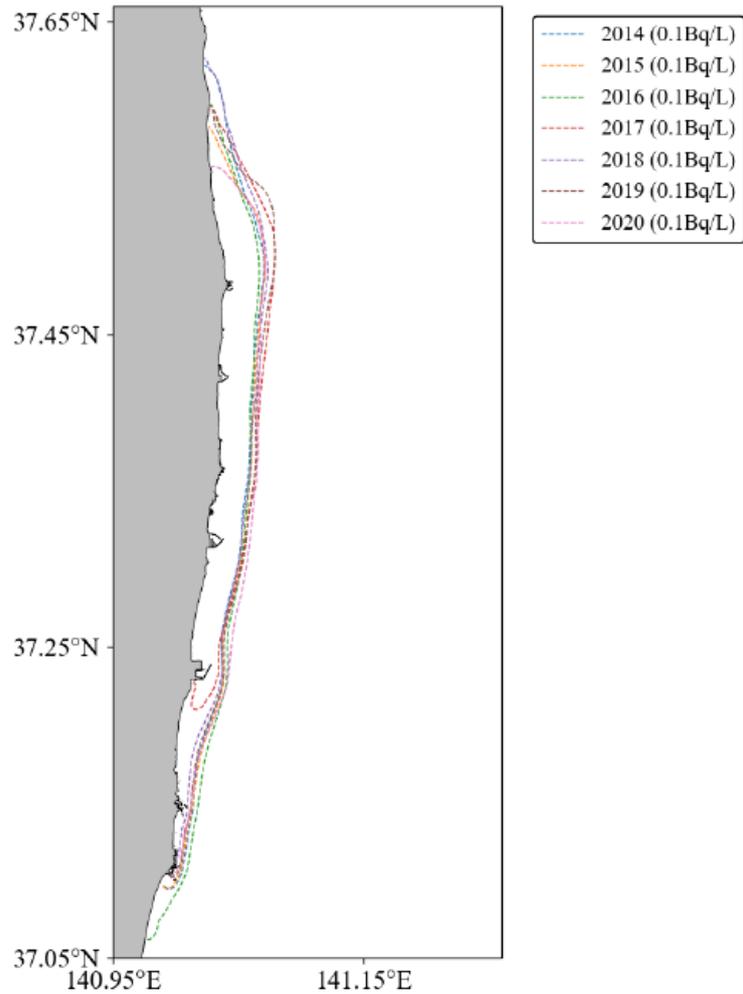


図 6-1-19 2014 年～2020 年の年間平均濃度 0.1Bq/L の範囲

表 6-1-15 2014 年～2020 年の 10km×10km の年間平均濃度の計算結果

年	発電所周辺 10km×10km の年間平均濃度 (Bq/L)		
	全層	最上層	最下層
2014	4.8E-02	1.0E-01	5.0E-02
2015	4.9E-02	9.6E-02	5.3E-02
2016	4.9E-02	9.6E-02	5.3E-02
2017	5.8E-02	1.2E-01	6.3E-02
2018	5.0E-02	1.1E-01	5.4E-02
2019	5.6E-02	1.2E-01	6.0E-02
2020	5.4E-02	1.1E-01	6.0E-02
平均	5.2E-02	1.1E-01	5.6E-02
標準偏差	3.8E-03	9.3E-03	4.4E-03

表 6-1-16 計算領域の境界（北側、東側、南側すべて）における最大濃度

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: 最下層, 29: 最上層)
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

(2) 評価に使用する核種ごとの海水中濃度

トリチウムに対する移流・拡散の評価結果を基に、ソースタームにおけるトリチウムと他の核種の年間放出量の比によって、他の核種の濃度を求めた。

表 6-1-17 に、トリチウムを年間 22 兆 Bq ($2.2E+13$ Bq) 放出した場合の、発電所周辺 10km×10km 圏内および発電所北側の砂浜評価地点の海水中トリチウム濃度（年間平均濃度）を示す。2014 年の濃度に対する 2019 年の濃度の変化率は 20%前後であった。年変動の影響は小さいが、ここではより大きな 2019 年の濃度を被ばく評価に用いることとした。

本結果と、表 6-1-1～6-1-3 に示した核種ごとの年間放出量から求めた、評価用の海水中放射性物質濃度を表 6-1-18～20 に示す。

表 6-1-17 トリチウムを年間 $2.2E+13$ Bq 放出した場合の海水中トリチウム濃度

	深さ	計算結果 (Bq/L)			評価用濃度 (Bq/L)
		2014 年 気象海象	2019 年 気象海象	差異 (%)	
発電所周辺 10km×10km 圏内 の年間平均濃度	全層	4.8E-02	5.6E-02	17	5.6E-02
	最上層	1.0E-01	1.2E-01	20	1.2E-01
砂浜評価地点の 年間平均濃度	全層	7.2E-01	8.8E-01	22	8.8E-01

表 6-1-18 評価に使用する海水濃度 (K4 タンク群の核種組成によるソースターム)

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水濃度 (Bq/L)		
		10km×10km 圏内 全層平均	10km×10km 圏内 最上層平均	砂浜評価地点 全層平均
H-3	2.2E+13	5.6E-02	1.2E-01	8.8E-01
C-14	1.7E+09	4.4E-06	9.5E-06	6.9E-05
Mn-54	7.8E+05	2.0E-09	4.2E-09	3.1E-08
Fe-59	2.0E+06	5.0E-09	1.1E-08	7.9E-08
Co-58	9.3E+05	2.4E-09	5.1E-09	3.7E-08
Co-60	5.1E+07	1.3E-07	2.8E-07	2.0E-06
Ni-63	2.5E+08	6.5E-07	1.4E-06	1.0E-05
Zn-65	1.7E+06	4.4E-09	9.5E-09	6.9E-08
Rb-86	2.2E+07	5.6E-08	1.2E-07	8.8E-07
Sr-89	1.2E+07	2.9E-08	6.3E-08	4.6E-07
Sr-90	2.5E+07	6.5E-08	1.4E-07	1.0E-06
Y-90	2.5E+07	6.5E-08	1.4E-07	1.0E-06
Y-91	2.5E+08	6.5E-07	1.4E-06	1.0E-05
Nb-95	1.2E+06	2.9E-09	6.3E-09	4.6E-08
Tc-99	8.1E+07	2.1E-07	4.4E-07	3.2E-06
Ru-103	1.2E+06	2.9E-09	6.3E-09	4.6E-08
Ru-106	1.9E+08	4.7E-07	1.0E-06	7.4E-06
Rh-103m	1.2E+06	2.9E-09	6.3E-09	4.6E-08
Rh-106	1.9E+08	4.7E-07	1.0E-06	7.4E-06
Ag-110m	6.5E+05	1.7E-09	3.5E-09	2.6E-08
Cd-113m	2.1E+06	5.3E-09	1.1E-08	8.3E-08
Cd-115m	7.4E+07	1.9E-07	4.0E-07	3.0E-06
Sn-119m	2.0E+07	5.0E-08	1.1E-07	7.9E-07
Sn-123	1.4E+08	3.5E-07	7.6E-07	5.6E-06
Sn-126	3.1E+06	8.0E-09	1.7E-08	1.3E-07
Sb-124	1.1E+06	2.8E-09	6.0E-09	4.4E-08
Sb-125	3.8E+07	9.7E-08	2.1E-07	1.5E-06
Te-123m	1.1E+06	2.7E-09	5.8E-09	4.3E-08
Te-125m	3.8E+07	9.7E-08	2.1E-07	1.5E-06
Te-127	3.7E+07	9.4E-08	2.0E-07	1.5E-06
Te-127m	3.7E+07	9.4E-08	2.0E-07	1.5E-06

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水濃度 (Bq/L)		
		10km×10km 圏内 全層平均	10km×10km 圏内 最上層平均	砂浜評価地点 全層平均
Te-129	3.7E+07	9.4E-08	2.0E-07	1.5E-06
Te-129m	3.7E+07	9.4E-08	2.0E-07	1.5E-06
I-129	2.4E+08	6.2E-07	1.3E-06	9.7E-06
Cs-134	5.2E+06	1.3E-08	2.8E-08	2.1E-07
Cs-135	2.9E+02	7.4E-13	1.6E-12	1.2E-11
Cs-136	3.5E+06	8.8E-09	1.9E-08	1.4E-07
Cs-137	4.9E+07	1.2E-07	2.7E-07	1.9E-06
Ba-137m	4.9E+07	1.2E-07	2.7E-07	1.9E-06
Ba-140	1.1E+07	2.8E-08	6.0E-08	4.4E-07
Ce-141	2.9E+06	7.4E-09	1.6E-08	1.2E-07
Ce-144	7.3E+06	1.9E-08	4.0E-08	2.9E-07
Pr-144	7.3E+06	1.9E-08	4.0E-08	2.9E-07
Pr-144m	7.3E+06	1.9E-08	4.0E-08	2.9E-07
Pm-146	1.1E+07	2.9E-08	6.2E-08	4.5E-07
Pm-147	2.2E+07	5.6E-08	1.2E-07	8.8E-07
Pm-148	5.8E+07	1.5E-07	3.2E-07	2.3E-06
Pm-148m	9.7E+05	2.5E-09	5.3E-09	3.9E-08
Sm-151	1.0E+05	2.7E-10	5.7E-10	4.2E-09
Eu-152	3.2E+06	8.3E-09	1.8E-08	1.3E-07
Eu-154	1.4E+06	3.5E-09	7.6E-09	5.6E-08
Eu-155	3.8E+06	9.7E-09	2.1E-08	1.5E-07
Gd-153	3.7E+06	9.4E-09	2.0E-08	1.5E-07
Tb-160	3.2E+06	8.3E-09	1.8E-08	1.3E-07
Pu-238	7.3E+04	1.9E-10	4.0E-10	2.9E-09
Pu-239	7.3E+04	1.9E-10	4.0E-10	2.9E-09
Pu-240	7.3E+04	1.9E-10	4.0E-10	2.9E-09
Pu-241	3.2E+06	8.3E-09	1.8E-08	1.3E-07
Am-241	7.3E+04	1.9E-10	4.0E-10	2.9E-09
Am-242m	4.5E+03	1.1E-11	2.5E-11	1.8E-10
Am-243	7.3E+04	1.9E-10	4.0E-10	2.9E-09
Cm-242	7.3E+04	1.9E-10	4.0E-10	2.9E-09
Cm-243	7.3E+04	1.9E-10	4.0E-10	2.9E-09

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水濃度 (Bq/L)		
		10km×10km 圏内 全層平均	10km×10km 圏内 最上層平均	砂浜評価地点 全層平均
Cm-244	7.3E+04	1.9E-10	4.0E-10	2.9E-09
対象とする被ばく評価		漁網から 海産物摂取	海水面から 船体から	遊泳中 海浜砂から 飲水 しぶき吸入

表 6-1-19 評価に使用する海水濃度 (J1-C タンク群の核種組成によるソースターム)

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水濃度 (Bq/L)		
		10km×10km 圏内 全層平均	10km×10km 圏内 最上層平均	砂浜評価地点 全層平均
H-3	2.2E+13	5.6E-02	1.2E-01	8.8E-01
C-14	4.8E+08	1.2E-06	2.6E-06	1.9E-05
Mn-54	1.0E+06	2.6E-09	5.6E-09	4.1E-08
Fe-59	2.3E+06	5.9E-09	1.3E-08	9.3E-08
Co-58	1.1E+06	2.8E-09	6.0E-09	4.4E-08
Co-60	8.9E+06	2.3E-08	4.8E-08	3.5E-07
Ni-63	2.3E+08	5.8E-07	1.2E-06	9.1E-06
Zn-65	2.5E+06	6.4E-09	1.4E-08	1.0E-07
Rb-86	1.3E+07	3.4E-08	7.3E-08	5.4E-07
Sr-89	1.4E+06	3.7E-09	7.9E-09	5.8E-08
Sr-90	9.7E+05	2.5E-09	5.3E-09	3.9E-08
Y-90	9.7E+05	2.5E-09	5.3E-09	3.9E-08
Y-91	4.6E+08	1.2E-06	2.5E-06	1.8E-05
Nb-95	1.3E+06	3.4E-09	7.3E-09	5.4E-08
Tc-99	3.2E+07	8.2E-08	1.8E-07	1.3E-06
Ru-103	1.4E+06	3.6E-09	7.8E-09	5.7E-08
Ru-106	3.8E+07	9.6E-08	2.0E-07	1.5E-06
Rh-103m	1.4E+06	3.6E-09	7.8E-09	5.7E-08
Rh-106	3.8E+07	9.6E-08	2.0E-07	1.5E-06
Ag-110m	1.2E+06	2.9E-09	6.3E-09	4.6E-08
Cd-113m	2.3E+06	5.8E-09	1.2E-08	9.1E-08
Cd-115m	7.2E+07	1.8E-07	4.0E-07	2.9E-06

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水濃度 (Bq/L)		
		10km×10km 圏内 全層平均	10km×10km 圏内 最上層平均	砂浜評価地点 全層平均
Sn-119m	1.1E+09	2.9E-06	6.1E-06	4.5E-05
Sn-123	1.8E+08	4.5E-07	9.7E-07	7.1E-06
Sn-126	7.8E+06	2.0E-08	4.2E-08	3.1E-07
Sb-124	2.6E+06	6.6E-09	1.4E-08	1.0E-07
Sb-125	6.2E+06	1.6E-08	3.4E-08	2.5E-07
Te-123m	2.5E+06	6.3E-09	1.3E-08	9.9E-08
Te-125m	6.2E+06	1.6E-08	3.4E-08	2.5E-07
Te-127	1.3E+08	3.2E-07	6.9E-07	5.0E-06
Te-127m	1.3E+08	3.3E-07	7.2E-07	5.3E-06
Te-129	3.8E+07	9.6E-08	2.0E-07	1.5E-06
Te-129m	3.8E+07	9.6E-08	2.0E-07	1.5E-06
I-129	3.2E+07	8.2E-08	1.8E-07	1.3E-06
Cs-134	2.0E+06	5.2E-09	1.1E-08	8.2E-08
Cs-135	3.2E+01	8.2E-14	1.8E-13	1.3E-12
Cs-136	1.3E+06	3.2E-09	6.9E-09	5.0E-08
Cs-137	5.1E+06	1.3E-08	2.8E-08	2.0E-07
Ba-137m	5.1E+06	1.3E-08	2.8E-08	2.0E-07
Ba-140	5.4E+06	1.4E-08	2.9E-08	2.1E-07
Ce-141	7.0E+06	1.8E-08	3.8E-08	2.8E-07
Ce-144	1.5E+07	3.9E-08	8.3E-08	6.1E-07
Pr-144	1.5E+07	3.9E-08	8.3E-08	6.1E-07
Pr-144m	1.5E+07	3.9E-08	8.3E-08	6.1E-07
Pm-146	1.8E+06	4.6E-09	9.8E-09	7.2E-08
Pm-147	2.1E+07	5.5E-08	1.2E-07	8.6E-07
Pm-148	6.2E+06	1.6E-08	3.4E-08	2.5E-07
Pm-148m	1.3E+06	3.3E-09	7.0E-09	5.2E-08
Sm-151	3.0E+05	7.5E-10	1.6E-09	1.2E-08
Eu-152	7.5E+06	1.9E-08	4.1E-08	3.0E-07
Eu-154	3.0E+06	7.5E-09	1.6E-08	1.2E-07
Eu-155	9.1E+06	2.3E-08	5.0E-08	3.6E-07
Gd-153	7.0E+06	1.8E-08	3.8E-08	2.8E-07
Tb-160	3.8E+06	9.6E-09	2.0E-08	1.5E-07

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水濃度 (Bq/L)		
		10km×10km 圏内 全層平均	10km×10km 圏内 最上層平均	砂浜評価地点 全層平均
Pu-238	8.9E+05	2.3E-09	4.8E-09	3.5E-08
Pu-239	8.9E+05	2.3E-09	4.8E-09	3.5E-08
Pu-240	8.9E+05	2.3E-09	4.8E-09	3.5E-08
Pu-241	3.2E+07	8.2E-08	1.8E-07	1.3E-06
Am-241	8.9E+05	2.3E-09	4.8E-09	3.5E-08
Am-242m	1.6E+04	4.0E-11	8.6E-11	6.3E-10
Am-243	8.9E+05	2.3E-09	4.8E-09	3.5E-08
Cm-242	8.9E+05	2.3E-09	4.8E-09	3.5E-08
Cm-243	8.9E+05	2.3E-09	4.8E-09	3.5E-08
Cm-244	8.9E+05	2.3E-09	4.8E-09	3.5E-08
対象とする 被ばく評価		漁網から 海産物摂取	海水面から 船体から	遊泳中 海浜砂から 飲水 しぶき吸入

表 6-1-20 評価に使用する海水濃度 (J1-G タンク群の核種組成によるソースターム)

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水濃度 (Bq/L)		
		10km×10km 圏内 全層平均	10km×10km 圏内 最上層平均	砂浜評価地点 全層平均
H-3	2.2E+13	5.6E-02	1.2E-01	8.8E-01
C-14	1.3E+09	3.3E-06	7.1E-06	5.2E-05
Mn-54	3.1E+06	7.9E-09	1.7E-08	1.2E-07
Fe-59	5.9E+06	1.5E-08	3.2E-08	2.3E-07
Co-58	3.0E+06	7.7E-09	1.6E-08	1.2E-07
Co-60	1.9E+07	4.8E-08	1.0E-07	7.5E-07
Ni-63	7.2E+08	1.8E-06	3.9E-06	2.9E-05
Zn-65	6.5E+06	1.7E-08	3.6E-08	2.6E-07
Rb-86	3.8E+07	9.7E-08	2.1E-07	1.5E-06
Sr-89	3.7E+06	9.3E-09	2.0E-08	1.5E-07
Sr-90	2.6E+06	6.6E-09	1.4E-08	1.0E-07
Y-90	2.6E+06	6.6E-09	1.4E-08	1.0E-07
Y-91	9.8E+08	2.5E-06	5.3E-06	3.9E-05

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水濃度 (Bq/L)		
		10km×10km 圏内 全層平均	10km×10km 圏内 最上層平均	砂浜評価地点 全層平均
Nb-95	3.8E+06	9.7E-09	2.1E-08	1.5E-07
Tc-99	1.1E+08	2.7E-07	5.8E-07	4.2E-06
Ru-103	4.2E+06	1.1E-08	2.3E-08	1.7E-07
Ru-106	3.9E+07	1.0E-07	2.1E-07	1.6E-06
Rh-103m	4.2E+06	1.1E-08	2.3E-08	1.7E-07
Rh-106	3.9E+07	1.0E-07	2.1E-07	1.6E-06
Ag-110m	3.3E+06	8.3E-09	1.8E-08	1.3E-07
Cd-113m	7.0E+06	1.8E-08	3.8E-08	2.8E-07
Cd-115m	1.9E+08	4.8E-07	1.0E-06	7.5E-06
Sn-119m	3.3E+09	8.3E-06	1.8E-05	1.3E-04
Sn-123	5.1E+08	1.3E-06	2.8E-06	2.1E-05
Sn-126	1.2E+07	3.1E-08	6.7E-08	4.9E-07
Sb-124	6.8E+06	1.7E-08	3.7E-08	2.7E-07
Sb-125	1.1E+07	2.9E-08	6.2E-08	4.6E-07
Te-123m	5.5E+06	1.4E-08	3.0E-08	2.2E-07
Te-125m	1.1E+07	2.9E-08	6.2E-08	4.6E-07
Te-127	3.5E+08	8.9E-07	1.9E-06	1.4E-05
Te-127m	3.7E+08	9.3E-07	2.0E-06	1.5E-05
Te-129	9.8E+07	2.5E-07	5.3E-07	3.9E-06
Te-129m	9.8E+07	2.5E-07	5.3E-07	3.9E-06
I-129	2.7E+07	6.8E-08	1.5E-07	1.1E-06
Cs-134	5.5E+06	1.4E-08	3.0E-08	2.2E-07
Cs-135	1.7E+02	4.4E-13	9.3E-13	6.8E-12
Cs-136	2.9E+06	7.5E-09	1.6E-08	1.2E-07
Cs-137	2.7E+07	6.8E-08	1.5E-07	1.1E-06
Ba-137m	2.7E+07	6.8E-08	1.5E-07	1.1E-06
Ba-140	1.4E+07	3.5E-08	7.6E-08	5.5E-07
Ce-141	9.8E+06	2.5E-08	5.3E-08	3.9E-07
Ce-144	4.5E+07	1.1E-07	2.4E-07	1.8E-06
Pr-144	4.5E+07	1.1E-07	2.4E-07	1.8E-06
Pr-144m	4.5E+07	1.1E-07	2.4E-07	1.8E-06
Pm-146	5.1E+06	1.3E-08	2.8E-08	2.1E-07

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水濃度 (Bq/L)		
		10km×10km 圏内 全層平均	10km×10km 圏内 最上層平均	砂浜評価地点 全層平均
Pm-147	5.9E+07	1.5E-07	3.2E-07	2.3E-06
Pm-148	3.7E+07	9.3E-08	2.0E-07	1.5E-06
Pm-148m	3.3E+06	8.5E-09	1.8E-08	1.3E-07
Sm-151	8.1E+05	2.1E-09	4.4E-09	3.3E-08
Eu-152	1.5E+07	3.9E-08	8.4E-08	6.2E-07
Eu-154	8.1E+06	2.1E-08	4.4E-08	3.3E-07
Eu-155	1.5E+07	3.7E-08	8.0E-08	5.9E-07
Gd-153	1.5E+07	3.9E-08	8.4E-08	6.2E-07
Tb-160	1.1E+07	2.9E-08	6.2E-08	4.6E-07
Pu-238	2.3E+06	5.8E-09	1.2E-08	9.1E-08
Pu-239	2.3E+06	5.8E-09	1.2E-08	9.1E-08
Pu-240	2.3E+06	5.8E-09	1.2E-08	9.1E-08
Pu-241	8.1E+07	2.1E-07	4.4E-07	3.3E-06
Am-241	2.3E+06	5.8E-09	1.2E-08	9.1E-08
Am-242m	4.2E+04	1.1E-10	2.3E-10	1.7E-09
Am-243	2.3E+06	5.8E-09	1.2E-08	9.1E-08
Cm-242	2.3E+06	5.8E-09	1.2E-08	9.1E-08
Cm-243	2.3E+06	5.8E-09	1.2E-08	9.1E-08
Cm-244	2.3E+06	5.8E-09	1.2E-08	9.1E-08
対象とする 被ばく評価		漁網から 海産物摂取	海水面から 船体から	遊泳中 海浜砂から 飲水 しぶき吸入

(3) 被ばく評価結果

表 6-1-18～6-1-20 の海水濃度を使用し、以下の3ケースの被ばく評価を行った結果を表 6-1-21～22 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)

人に関する被ばく評価結果は、0.00003 (3E-05) ~0.0004 (4E-04) mSv/年であった。

いずれの場合も一般公衆の線量限度 1mSv/年はもとより、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 0.05mSv/年も大きく下回った。

実測値によるソースタームでの評価は、検出下限値未満の核種（不検出核種）についても検出下限値に含まれるものとして評価したことから、評価結果は保守的なものと考えられる。評価結果のうち、不検出核種の寄与について、添付 IX「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」に示した。

また、実効線量係数が大きく、内部被ばくの評価値が高くなる乳児においても、内部被ばくの評価結果は 0.000029 (2.9E-05) mSv/年~0.00071 (7.1E-04) mSv/年の範囲に収まっており、線量限度 1 mSv/年はもとより、線量拘束値に相当する線量目標値 0.05mSv/年も大きく下回る結果であった。

これらの評価結果の、核種ごとの内訳を添付 X「被ばく評価結果の核種ごとの内訳」に示す。

社会・経済的なバランスも考慮しつつ、できるだけ被ばくを少なくするよう努力するという、放射線防護の基本的な考え方³⁸から言えば、防護の最適化は、必ずしも被ばくの最小化を意味することとはならない。線量拘束値を超えない範囲であれば、放射線防護の最適化が行われていると解されるので、以下に、「処理水の年間放出量」、「線量拘束値」、および、「ソースタームの被ばく評価結果」を用い、許容されうる放出上限の試算を示す。

例えば、実測値によるソースタームのうち最も被ばく評価結果の数値が大きい J1-G タンク群の評価結果を用いてトリチウムの年間放出量を計算すれば、線量拘束値が 0.05mSv/年であり、J1-G タンク群のソースタームに基づいた被ばく評価結果（海産物摂取量が多い場合）が 4E-04mSv/年であることから、

$$2.2\text{E}+13(\text{Bq}/\text{年}) \times 0.05 (\text{mSv}/\text{年}) \div 0.0004(\text{mSv}/\text{年}) = 2.7\text{E}+15(\text{Bq}/\text{年}) = \underline{\underline{2,700 \text{ 兆 Bq}/\text{年}}}$$

という結果となる。

³⁸ 放射線を伴う行為のメリットが放射線のリスクを上回る場合は、合理的に達成可能な限り被ばく量を減らして、放射線を利用するという ALARA (as low as reasonably achievable) の原則

同様に計算により、最も被ばく評価結果の数値が小さい K4 タンク群の評価結果を用いると、

$$2.2E+13(\text{Bq/年}) \times 0.05 (\text{mSv/年}) \div 0.00003(\text{mSv/年}) = 3.6E+16(\text{Bq/年}) = \underline{3.6 \text{ 京 Bq/年}} \\ (\underline{36,000 \text{ 兆 Bq/年}})$$

となり、ソースタームおよび海産物摂取量に応じて最小となった 2,700 兆 Bq/年 (J1-G タンク群のソースタームで海産物摂取量が多い場合) を放出量の上限として、放射線防護の最適化により実際の放出量を決定することとなる。

一方、実際に海洋放出される ALPS 処理水に含まれるトリチウムの年間放出量は、2021 年 4 月の国の基本方針により、「放出するトリチウムの年間の放出量は、事故前の福島第一原発の放出管理値 (年間 22 兆ベクレル) を下回る水準になるよう放出を実施し、定期的に見直すこととする。」とされている。これは、ALPS 処理水のみならず廃炉全体のリスク最適化の観点、ALPS 処理水の陸上保管中に期待される放射性物質の自然減衰の効果と長期保管中における漏えいリスクや職業被ばく、廃炉完了までに ALPS 処理水の処分も完了していること、ならびにステークホルダーの理解などの社会的受容性も考慮した公共政策上の選択である。このような経緯を踏まえ、当社では、上記「基本方針を踏まえた当社の対応 (2021 年 4 月)」に示すとおり、本報告書の評価条件としてトリチウムの年間放出量を 22 兆 Bq/年と設定し、放射線影響評価を行った。

なお、年間のトリチウム放出量については、国の基本方針を踏まえ、汚染水の発生状況や新たに生じる ALPS 処理水のトリチウム濃度などを精査し、利害関係者を含めた最適化の観点等に十分留意しつつ、線量拘束値を満たす範囲で、定期的に見直すこととしている。

表 6-1-21 人に関する被ばく評価結果

評価 ケース	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. 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
外部 被ばく (mSv/ 年)	海水面	6.5E-09		1.7E-08		4.7E-08	
	船体	4.8E-09		1.2E-08		3.3E-08	
	遊泳中	4.5E-09		1.2E-08		3.2E-08	
	海浜砂	7.8E-06		2.1E-05		5.6E-05	
	漁網	1.6E-06		4.3E-06		1.2E-05	
内部 被ばく (mSv/ 年)	飲水	3.3E-07		3.1E-07		3.2E-07	
	しぶき 吸入	9.3E-08		2.0E-07		4.0E-07	
	海産物 摂取	1.5E-05	6.1E-05	2.8E-05	1.1E-04	7.9E-05	3.0E-04
合計 (mSv/年)		3E-05	7E-05	5E-05	1E-04	1E-04	4E-04

表 6-1-22 年齢別の内部被ばく評価結果

評価 ケース	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. 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
飲水による 内部被ばく (mSv/年)	成人	3.3E-07		3.1E-07		3.2E-07	
	幼児	5.7E-07		5.4E-07		5.5E-07	
	乳児	-		-		-	
水しぶきの 吸入による 内部被ばく (mSv/年)	成人	9.3E-08		2.0E-07		4.0E-07	
	幼児	6.2E-08		1.1E-07		2.2E-07	
	乳児	4.0E-08		6.5E-08		1.2E-07	
海産物摂取 による 内部被ばく (mSv/年)	成人	1.5E-05	6.1E-05	2.8E-05	1.1E-04	7.9E-05	3.0E-04
	幼児	2.4E-05	9.4E-05	5.1E-05	2.0E-04	1.5E-04	5.6E-04
	乳児	2.9E-05	1.1E-04	6.7E-05	2.5E-04	1.9E-04	7.1E-04

6-2. 潜在被ばくの評価

GSG-10 に示されている潜在被ばくに関する評価の手順（図 6-2-1）にしたがって、潜在被ばくの評価を実施した。

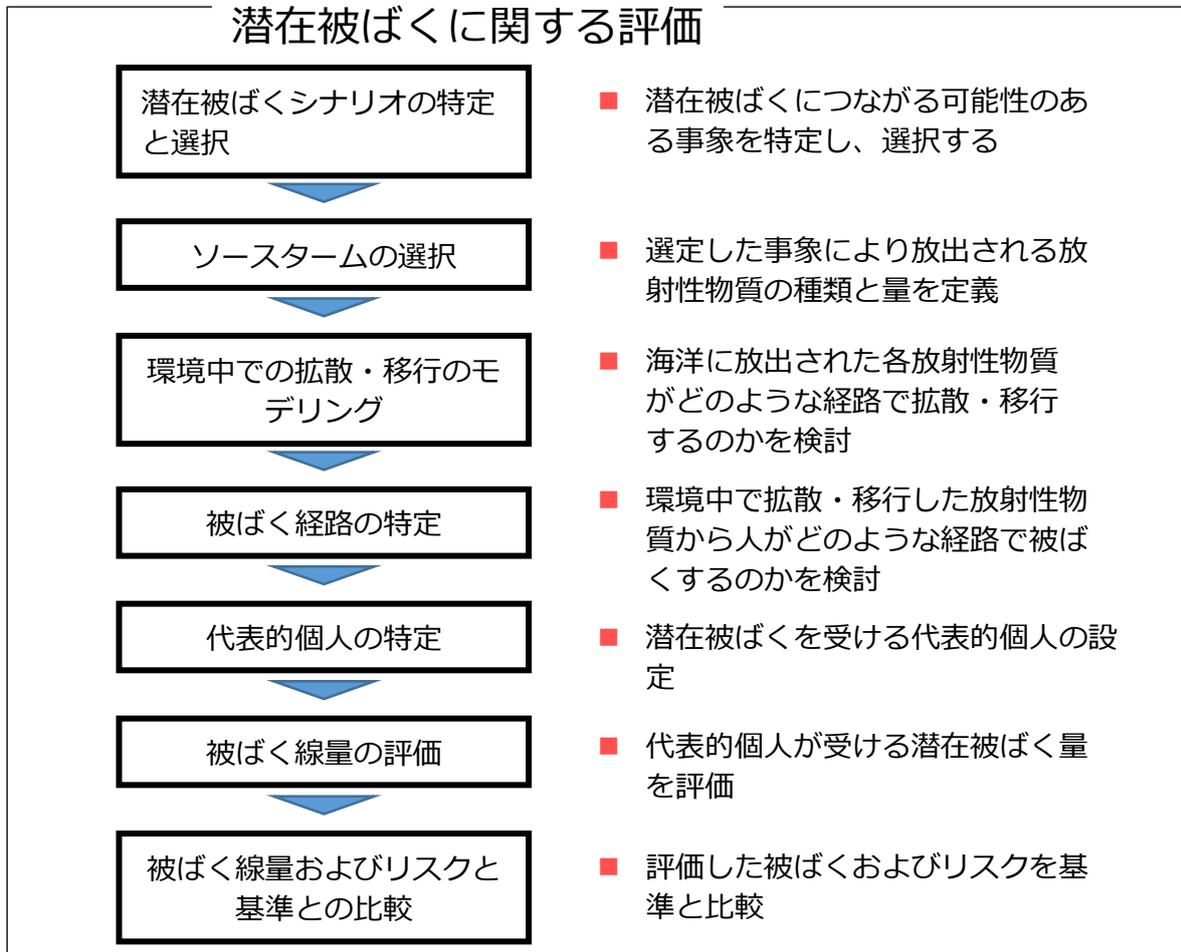


図 6-2-1. 潜在被ばくに関する評価の手順

6-2-1. 評価方法

(1) 潜在被ばくシナリオの特定と選択

ALPS 処理水の海洋放出設備は、測定・確認用設備、移送設備、希釈設備、放水設備から成る。これらの設備が内包する放射性物質を含む水は、希釈前の ALPS 処理水と希釈後の ALPS 処理水の 2 種類である。したがって、意図しない形での ALPS 処理水の海洋放出を頂上事象とし定義し、具体的な異常事象を、

- ①放射性物質を測定・確認不備の状態での放出
- ②海水希釈不十分での放出
- ③設備からの漏えい

の3種類と定義した。

設計においては、これらを防止するため

①に対しては、

- ・排水のためのインターロックを設ける
- ・タンクの弁の二重化
- ・第三者機関による分析との比較
- ・攪拌、循環機器により試料の均一化

②に対しては、

- ・流量による希釈率の監視
- ・海水流量異常時に放出を停止するためのインターロックを設ける
- ・二重の緊急遮断弁の設置

③に対しては、

- ・地震発生時の停止
- ・定期的な巡視点検の実施
- ・PE管の接続は融着構造とする
- ・フランジ部への漏えい検知機、堰の設置
- ・受入タンクへの水位計の設置

などの対策により、単一故障時の意図しない形でのALPS処理水の放出量は、最大でも1.2m³程度に抑えられている。

①、②は設計および運用により放出は防止されるが、③設備からの漏えい事象については外部事象などによる発生を否定できないことから、シナリオ選定を行った。

ALPS処理水の海洋放出に係わる設備は、最初に述べたとおり、測定・確認用設備、移送設備、希釈設備、放水設備から成る。これらの設備の内、希釈設備、放水設備は希釈後のALPS処理水を内包する設備であり、漏えいした場合であっても被ばくのリスクは無視できる程度である。

一方、測定・確認用設備は、主に測定・確認用タンク、ポンプ、配管、および弁、移送設備は、主にポンプ、配管、および弁から構成される。これらの設備からの漏えいシナリオとして、以下のとおりケース1：配管からの漏えいと最も厳しい事象としてケース2：タンクからの漏えいを選定した。

・ケース1 配管からの漏えい

配管からの漏えいを考えた場合、ALPS 処理水の流量は通常時と変わらないと考えられるが、希釈されること無く海洋に流出することとなる。最も厳しい配管からの漏えいシナリオとして、海洋に近い場所で配管破断が発生し、通常運転時の最大流量（500m³/日）が全量北防波堤付近から流出する事象を選定した。また、現実には流量の常時監視や、毎日巡視点検を行うことから、翌日には流出は止まると考えられるが、ここでは、流出に気付くことができずに測定・確認用タンク1系列1万m³が空になるまで20日間漏えいが継続することとした。

・ケース2 タンクからの漏えい

最も厳しいシナリオとして、巨大地震等で測定・確認用タンク3群すべてが破損し、1日で3万m³のALPS処理水が海洋に流出する事象を選定した。

(2) ソースターム（核種ごとの日放出量）

ケース1（配管破断）

流出するALPS処理水は、通常時に希釈して放出するALPS処理水であり、ソースタームは実測値に基づく核種組成と日最大排水量（500m³/日）の積で求めた。評価に使用したソースタームを表6-2-1～6-2-3に示す。

表 6-2-1 実測値（K4 タンク群）の核種組成によるソースターム（ケース1）

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
H-3	1.9E+05	5.0E+05	9.5E+10	・日放出量は、通常運転時の日排水量の最大値 500m ³ と核種ごとの濃度の積により求めた
C-14	1.5E+01		7.5E+06	
Mn-54	6.7E-03		3.4E+03	
Fe-59	1.7E-02		8.5E+03	
Co-58	8.0E-03		4.0E+03	
Co-60	4.4E-01		2.2E+05	

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
Ni-63	2.2E+00		1.1E+06	
Zn-65	1.5E-02		7.5E+03	
Rb-86	1.9E-01		9.5E+04	
Sr-89	1.0E-01		5.0E+04	
Sr-90	2.2E-01		1.1E+05	
Y-90	2.2E-01		1.1E+05	
Y-91	2.2E+00		1.1E+06	
Nb-95	1.0E-02		5.0E+03	
Tc-99	7.0E-01		3.5E+05	
Ru-103	1.0E-02		5.0E+03	
Ru-106	1.6E+00		8.0E+05	
Rh-103m	1.0E-02		5.0E+03	
Rh-106	1.6E+00		8.0E+05	
Ag-110m	5.6E-03		2.8E+03	
Cd-113m	1.8E-02		9.0E+03	
Cd-115m	6.4E-01		3.2E+05	
Sn-119m	1.7E-01		8.5E+04	
Sn-123	1.2E+00		6.0E+05	
Sn-126	2.7E-02		1.4E+04	
Sb-124	9.5E-03		4.8E+03	
Sb-125	3.3E-01		1.7E+05	
Te-123m	9.2E-03		4.6E+03	
Te-125m	3.3E-01		1.7E+05	
Te-127	3.2E-01		1.6E+05	
Te-127m	3.2E-01		1.6E+05	
Te-129	8.1E-02		4.1E+04	
Te-129m	3.2E-01		1.6E+05	
I-129	2.1E+00		1.1E+06	
Cs-134	4.5E-02		2.3E+04	
Cs-135	2.5E-06		1.3E+00	
Cs-136	3.0E-02		1.5E+04	
Cs-137	4.2E-01		2.1E+05	
Ba-137m	4.2E-01		2.1E+05	
Ba-140	9.5E-02		4.8E+04	
Ce-141	2.5E-02		1.3E+04	
Ce-144	6.3E-02		3.2E+04	
Pr-144	6.3E-02		3.2E+04	
Pr-144m	6.3E-02		3.2E+04	
Pm-146	9.8E-02		4.9E+04	

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
Pm-147	1.9E-01		9.5E+04	
Pm-148	5.0E-01		2.5E+05	
Pm-148m	8.4E-03		4.2E+03	
Sm-151	9.0E-04		4.5E+02	
Eu-152	2.8E-02		1.4E+04	
Eu-154	1.2E-02		6.0E+03	
Eu-155	3.3E-02		1.7E+04	
Gd-153	3.2E-02		1.6E+04	
Tb-160	2.8E-02		1.4E+04	
Pu-238	6.3E-04		3.2E+02	
Pu-239	6.3E-04		3.2E+02	
Pu-240	6.3E-04		3.2E+02	
Pu-241	2.8E-02		1.4E+04	
Am-241	6.3E-04		3.2E+02	
Am-242m	3.9E-05		2.0E+01	
Am-243	6.3E-04		3.2E+02	
Cm-242	6.3E-04		3.2E+02	
Cm-243	6.3E-04		3.2E+02	
Cm-244	6.3E-04		3.2E+02	

表 6-2-2 実測値 (J1-C タンク群) の核種組成によるソースターム (ケース 1)

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
H-3	8.2E+05	5.0E+05	4.1E+11	・日放出量は、通常運転時の日排水量の最大値 500m ³ と核種ごとの濃度の積により求めた
C-14	1.8E+01		9.0E+06	
Mn-54	3.8E-02		1.9E+04	
Fe-59	8.7E-02		4.4E+04	
Co-58	4.1E-02		2.1E+04	
Co-60	3.3E-01		1.7E+05	
Ni-63	8.5E+00		4.3E+06	
Zn-65	9.4E-02		4.7E+04	
Rb-86	5.0E-01		2.5E+05	
Sr-89	5.4E-02		2.7E+04	
Sr-90	3.6E-02		1.8E+04	
Y-90	3.6E-02		1.8E+04	
Y-91	1.7E+01		8.5E+06	
Nb-95	5.0E-02		2.5E+04	

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
Tc-99	1.2E+00		6.0E+05	
Ru-103	5.3E-02		2.7E+04	
Ru-106	1.4E+00		7.0E+05	
Rh-103m	5.3E-02		2.7E+04	
Rh-106	1.4E+00		7.0E+05	
Ag-110m	4.3E-02		2.2E+04	
Cd-113m	8.5E-02		4.3E+04	
Cd-115m	2.7E+00		1.4E+06	
Sn-119m	4.2E+01		2.1E+07	
Sn-123	6.6E+00		3.3E+06	
Sn-126	2.9E-01		1.5E+05	
Sb-124	9.7E-02		4.9E+04	
Sb-125	2.3E-01		1.2E+05	
Te-123m	9.2E-02		4.6E+04	
Te-125m	2.3E-01		1.2E+05	
Te-127	4.7E+00		2.4E+06	
Te-127m	4.9E+00		2.5E+06	
Te-129	6.2E-01		3.1E+05	
Te-129m	1.4E+00		7.0E+05	
I-129	1.2E+00		6.0E+05	
Cs-134	7.6E-02		3.8E+04	
Cs-135	1.2E-06		6.0E-01	
Cs-136	4.7E-02		2.4E+04	
Cs-137	1.9E-01		9.5E+04	
Ba-137m	1.9E-01		9.5E+04	
Ba-140	2.0E-01		1.0E+05	
Ce-141	2.6E-01		1.3E+05	
Ce-144	5.7E-01		2.9E+05	
Pr-144	5.7E-01		2.9E+05	
Pr-144m	5.7E-01		2.9E+05	
Pm-146	6.7E-02		3.4E+04	
Pm-147	8.0E-01		4.0E+05	
Pm-148	2.3E-01		1.2E+05	
Pm-148m	4.8E-02		2.4E+04	
Sm-151	1.1E-02		5.5E+03	
Eu-152	2.8E-01		1.4E+05	
Eu-154	1.1E-01		5.5E+04	
Eu-155	3.4E-01		1.7E+05	
Gd-153	2.6E-01		1.3E+05	

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
Tb-160	1.4E-01		7.0E+04	
Pu-238	3.3E-02		1.7E+04	
Pu-239	3.3E-02		1.7E+04	
Pu-240	3.3E-02		1.7E+04	
Pu-241	1.2E+00		6.0E+05	
Am-241	3.3E-02		1.7E+04	
Am-242m	5.9E-04		3.0E+02	
Am-243	3.3E-02		1.7E+04	
Cm-242	3.3E-02		1.7E+04	
Cm-243	3.3E-02		1.7E+04	
Cm-244	3.3E-02		1.7E+04	

表 6-2-3 実測値 (J1-G タンク群) の核種組成によるソースターム (ケース 1)

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
H-3	2.7E+05	5.0E+05	1.4E+11	・日放出量は、通常運転時の日排水量の最大値 500m ³ と核種ごとの濃度の積により求めた
C-14	1.6E+01		8.0E+06	
Mn-54	3.8E-02		1.9E+04	
Fe-59	7.2E-02		3.6E+04	
Co-58	3.7E-02		1.9E+04	
Co-60	2.3E-01		1.2E+05	
Ni-63	8.8E+00		4.4E+06	
Zn-65	8.0E-02		4.0E+04	
Rb-86	4.7E-01		2.4E+05	
Sr-89	4.5E-02		2.3E+04	
Sr-90	3.2E-02		1.6E+04	
Y-90	3.2E-02		1.6E+04	
Y-91	1.2E+01		6.0E+06	
Nb-95	4.7E-02		2.4E+04	
Tc-99	1.3E+00		6.5E+05	
Ru-103	5.1E-02		2.6E+04	
Ru-106	4.8E-01		2.4E+05	
Rh-103m	5.1E-02		2.6E+04	
Rh-106	4.8E-01		2.4E+05	
Ag-110m	4.0E-02		2.0E+04	
Cd-113m	8.6E-02	4.3E+04		
Cd-115m	2.3E+00	1.2E+06		

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
Sn-119m	4.0E+01		2.0E+07	
Sn-123	6.3E+00		3.2E+06	
Sn-126	1.5E-01		7.5E+04	
Sb-124	8.4E-02		4.2E+04	
Sb-125	1.4E-01		7.0E+04	
Te-123m	6.7E-02		3.4E+04	
Te-125m	1.4E-01		7.0E+04	
Te-127	4.3E+00		2.2E+06	
Te-127m	4.5E+00		2.3E+06	
Te-129	5.9E-01		3.0E+05	
Te-129m	1.2E+00		6.0E+05	
I-129	3.3E-01		1.7E+05	
Cs-134	6.7E-02		3.4E+04	
Cs-135	2.1E-06		1.1E+00	
Cs-136	3.6E-02		1.8E+04	
Cs-137	3.3E-01		1.7E+05	
Ba-137m	3.3E-01		1.7E+05	
Ba-140	1.7E-01		8.5E+04	
Ce-141	1.2E-01		6.0E+04	
Ce-144	5.5E-01		2.8E+05	
Pr-144	5.5E-01		2.8E+05	
Pr-144m	5.5E-01		2.8E+05	
Pm-146	6.3E-02		3.2E+04	
Pm-147	7.2E-01		3.6E+05	
Pm-148	4.5E-01		2.3E+05	
Pm-148m	4.1E-02		2.1E+04	
Sm-151	1.0E-02		5.0E+03	
Eu-152	1.9E-01		9.5E+04	
Eu-154	1.0E-01		5.0E+04	
Eu-155	1.8E-01		9.0E+04	
Gd-153	1.9E-01		9.5E+04	
Tb-160	1.4E-01		7.0E+04	
Pu-238	2.8E-02		1.4E+04	
Pu-239	2.8E-02		1.4E+04	
Pu-240	2.8E-02		1.4E+04	
Pu-241	1.0E+00		5.0E+05	
Am-241	2.8E-02		1.4E+04	
Am-242m	5.1E-04		2.6E+02	
Am-243	2.8E-02		1.4E+04	

対象 核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
Cm-242	2.8E-02		1.4E+04	
Cm-243	2.8E-02		1.4E+04	
Cm-244	2.8E-02		1.4E+04	

ケース2（タンク破損）

流出する ALPS 処理水は、通常時に希釈して放出する ALPS 処理水であり、ソースタームは実測値に基づく核種組成と日排水量（30,000m³/日）の積で求めた。評価に使用したソースタームを表 6-2-4～6-2-6 に示す。

表 6-2-4 実測値（K4 タンク群）の核種組成によるソースターム（ケース2）

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
H-3	1.9E+05	3.0E+07	5.7E+12	・測定・確認用タンク3群がすべて破損し、全容量（3万 m ³ ）が1日で流出すると仮定した ・日放出量は、日排水量 3 万 m ³ と、核種濃度の積により求めた
C-14	1.5E+01		4.5E+08	
Mn-54	6.7E-03		2.0E+05	
Fe-59	1.7E-02		5.1E+05	
Co-58	8.0E-03		2.4E+05	
Co-60	4.4E-01		1.3E+07	
Ni-63	2.2E+00		6.6E+07	
Zn-65	1.5E-02		4.5E+05	
Rb-86	1.9E-01		5.7E+06	
Sr-89	1.0E-01		3.0E+06	
Sr-90	2.2E-01		6.6E+06	
Y-90	2.2E-01		6.6E+06	
Y-91	2.2E+00		6.6E+07	
Nb-95	1.0E-02		3.0E+05	
Tc-99	7.0E-01		2.1E+07	
Ru-103	1.0E-02		3.0E+05	
Ru-106	1.6E+00		4.8E+07	
Rh-103m	1.0E-02		3.0E+05	
Rh-106	1.6E+00		4.8E+07	
Ag-110m	5.6E-03		1.7E+05	
Cd-113m	1.8E-02		5.4E+05	
Cd-115m	6.4E-01		1.9E+07	
Sn-119m	1.7E-01		5.1E+06	
Sn-123	1.2E+00		3.6E+07	
Sn-126	2.7E-02		8.1E+05	
Sb-124	9.5E-03		2.9E+05	
Sb-125	3.3E-01		9.9E+06	
Te-123m	9.2E-03		2.8E+05	
Te-125m	3.3E-01	9.9E+06		
Te-127	3.2E-01	9.6E+06		

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
Te-127m	3.2E-01		9.6E+06	
Te-129	8.1E-02		2.4E+06	
Te-129m	3.2E-01		9.6E+06	
I-129	2.1E+00		6.3E+07	
Cs-134	4.5E-02		1.4E+06	
Cs-135	2.5E-06		7.5E+01	
Cs-136	3.0E-02		9.0E+05	
Cs-137	4.2E-01		1.3E+07	
Ba-137m	4.2E-01		1.3E+07	
Ba-140	9.5E-02		2.9E+06	
Ce-141	2.5E-02		7.5E+05	
Ce-144	6.3E-02		1.9E+06	
Pr-144	6.3E-02		1.9E+06	
Pr-144m	6.3E-02		1.9E+06	
Pm-146	9.8E-02		2.9E+06	
Pm-147	1.9E-01		5.7E+06	
Pm-148	5.0E-01		1.5E+07	
Pm-148m	8.4E-03		2.5E+05	
Sm-151	9.0E-04		2.7E+04	
Eu-152	2.8E-02		8.4E+05	
Eu-154	1.2E-02		3.6E+05	
Eu-155	3.3E-02		9.9E+05	
Gd-153	3.2E-02		9.6E+05	
Tb-160	2.8E-02		8.4E+05	
Pu-238	6.3E-04		1.9E+04	
Pu-239	6.3E-04		1.9E+04	
Pu-240	6.3E-04		1.9E+04	
Pu-241	2.8E-02		8.4E+05	
Am-241	6.3E-04		1.9E+04	
Am-242m	3.9E-05		1.2E+03	
Am-243	6.3E-04		1.9E+04	
Cm-242	6.3E-04		1.9E+04	
Cm-243	6.3E-04		1.9E+04	
Cm-244	6.3E-04		1.9E+04	

表 6-2-5 実測値 (J1-C タンク群) の核種組成によるソースターム (ケース 2)

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
H-3	8.2E+05	3.0E+07	2.5E+13	・測定・確認用タンク 3 群がすべて破損し、全容量 (3 万 m ³) が 1 日で流出すると仮定した ・日放出量は、日排水量 3 万 m ³ と、核種濃度の積により求めた
C-14	1.8E+01		5.4E+08	
Mn-54	3.8E-02		1.1E+06	
Fe-59	8.7E-02		2.6E+06	
Co-58	4.1E-02		1.2E+06	
Co-60	3.3E-01		9.9E+06	
Ni-63	8.5E+00		2.6E+08	
Zn-65	9.4E-02		2.8E+06	
Rb-86	5.0E-01		1.5E+07	
Sr-89	5.4E-02		1.6E+06	
Sr-90	3.6E-02		1.1E+06	
Y-90	3.6E-02		1.1E+06	
Y-91	1.7E+01		5.1E+08	
Nb-95	5.0E-02		1.5E+06	
Tc-99	1.2E+00		3.6E+07	
Ru-103	5.3E-02		1.6E+06	
Ru-106	1.4E+00		4.2E+07	
Rh-103m	5.3E-02		1.6E+06	
Rh-106	1.4E+00		4.2E+07	
Ag-110m	4.3E-02		1.3E+06	
Cd-113m	8.5E-02		2.6E+06	
Cd-115m	2.7E+00		8.1E+07	
Sn-119m	4.2E+01		1.3E+09	
Sn-123	6.6E+00		2.0E+08	
Sn-126	2.9E-01		8.7E+06	
Sb-124	9.7E-02		2.9E+06	
Sb-125	2.3E-01		6.9E+06	
Te-123m	9.2E-02		2.8E+06	
Te-125m	2.3E-01		6.9E+06	
Te-127	4.7E+00		1.4E+08	
Te-127m	4.9E+00		1.5E+08	
Te-129	6.2E-01		1.9E+07	
Te-129m	1.4E+00		4.2E+07	
I-129	1.2E+00	3.6E+07		
Cs-134	7.6E-02	2.3E+06		
Cs-135	1.2E-06	3.6E+01		
Cs-136	4.7E-02	1.4E+06		

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
Cs-137	1.9E-01		5.7E+06	
Ba-137m	1.9E-01		5.7E+06	
Ba-140	2.0E-01		6.0E+06	
Ce-141	2.6E-01		7.8E+06	
Ce-144	5.7E-01		1.7E+07	
Pr-144	5.7E-01		1.7E+07	
Pr-144m	5.7E-01		1.7E+07	
Pm-146	6.7E-02		2.0E+06	
Pm-147	8.0E-01		2.4E+07	
Pm-148	2.3E-01		6.9E+06	
Pm-148m	4.8E-02		1.4E+06	
Sm-151	1.1E-02		3.3E+05	
Eu-152	2.8E-01		8.4E+06	
Eu-154	1.1E-01		3.3E+06	
Eu-155	3.4E-01		1.0E+07	
Gd-153	2.6E-01		7.8E+06	
Tb-160	1.4E-01		4.2E+06	
Pu-238	3.3E-02		9.9E+05	
Pu-239	3.3E-02		9.9E+05	
Pu-240	3.3E-02		9.9E+05	
Pu-241	1.2E+00		3.6E+07	
Am-241	3.3E-02		9.9E+05	
Am-242m	5.9E-04		1.8E+04	
Am-243	3.3E-02		9.9E+05	
Cm-242	3.3E-02		9.9E+05	
Cm-243	3.3E-02		9.9E+05	
Cm-244	3.3E-02		9.9E+05	

表 6-2-6 実測値 (J1-G タンク群) の核種組成によるソースターム (ケース2)

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
H-3	2.7E+05	3.0E+07	2.5E+13	・測定・確認用タンク3群がすべて破損し、全容量 (3万 m ³) が1日で流出すると仮定した ・日放出量は、日排水量 3万 m ³ と、核種濃度の積により求めた
C-14	1.6E+01		5.4E+08	
Mn-54	3.8E-02		1.1E+06	
Fe-59	7.2E-02		2.6E+06	
Co-58	3.7E-02		1.2E+06	
Co-60	2.3E-01		9.9E+06	

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
Ni-63	8.8E+00		2.6E+08	
Zn-65	8.0E-02		2.8E+06	
Rb-86	4.7E-01		1.5E+07	
Sr-89	4.5E-02		1.6E+06	
Sr-90	3.2E-02		1.1E+06	
Y-90	3.2E-02		1.1E+06	
Y-91	1.2E+01		5.1E+08	
Nb-95	4.7E-02		1.5E+06	
Tc-99	1.3E+00		3.6E+07	
Ru-103	5.1E-02		1.6E+06	
Ru-106	4.8E-01		4.2E+07	
Rh-103m	5.1E-02		1.6E+06	
Rh-106	4.8E-01		4.2E+07	
Ag-110m	4.0E-02		1.3E+06	
Cd-113m	8.6E-02		2.6E+06	
Cd-115m	2.3E+00		8.1E+07	
Sn-119m	4.0E+01		1.3E+09	
Sn-123	6.3E+00		2.0E+08	
Sn-126	1.5E-01		8.7E+06	
Sb-124	8.4E-02		2.9E+06	
Sb-125	1.4E-01		6.9E+06	
Te-123m	6.7E-02		2.8E+06	
Te-125m	1.4E-01		6.9E+06	
Te-127	4.3E+00		1.4E+08	
Te-127m	4.5E+00		1.5E+08	
Te-129	5.9E-01		1.9E+07	
Te-129m	1.2E+00		4.2E+07	
I-129	3.3E-01		3.6E+07	
Cs-134	6.7E-02		2.3E+06	
Cs-135	2.1E-06		3.6E+01	
Cs-136	3.6E-02		1.4E+06	
Cs-137	3.3E-01		5.7E+06	
Ba-137m	3.3E-01		5.7E+06	
Ba-140	1.7E-01		6.0E+06	
Ce-141	1.2E-01		7.8E+06	
Ce-144	5.5E-01		1.7E+07	
Pr-144	5.5E-01		1.7E+07	
Pr-144m	5.5E-01		1.7E+07	
Pm-146	6.3E-02		2.0E+06	

対象核種	核種濃度 (Bq/L)	日排水量 (L/日)	日放出量 (Bq/日)	備考
Pm-147	7.2E-01		2.4E+07	
Pm-148	4.5E-01		6.9E+06	
Pm-148m	4.1E-02		1.4E+06	
Sm-151	1.0E-02		3.3E+05	
Eu-152	1.9E-01		8.4E+06	
Eu-154	1.0E-01		3.3E+06	
Eu-155	1.8E-01		1.0E+07	
Gd-153	1.9E-01		7.8E+06	
Tb-160	1.4E-01		4.2E+06	
Pu-238	2.8E-02		9.9E+05	
Pu-239	2.8E-02		9.9E+05	
Pu-240	2.8E-02		9.9E+05	
Pu-241	1.0E+00		3.6E+07	
Am-241	2.8E-02		9.9E+05	
Am-242m	5.1E-04		1.8E+04	
Am-243	2.8E-02		9.9E+05	
Cm-242	2.8E-02		9.9E+05	
Cm-243	2.8E-02		9.9E+05	
Cm-244	2.8E-02		9.9E+05	

(3) 拡散、移行のモデリング、被ばく経路

潜在被ばくの評価においては、沖合 1km から沿岸へ海洋への放出場所が変わるが、放出先は同じ海域であり、そこでの拡散、移行についても通常時の被ばくと同様と想定されることから、移行経路は、6-1-2.(2)で設定した通常時の被ばくと同じとする。また、シミュレーションも同じモデルを使用するが、沿岸からの流出であることから、5, 6号機放水口付近からの放出による計算結果を使用した。

対象となる地域、海域が同じであり、移行経路も同じであることから、被ばく経路も通常時の被ばくと同じとした。

(4) 代表的個人の設定

潜在被ばく評価の対象となる代表的個人も、地域、海域や移行経路、被ばく経路が同じであり、6-1-2.(4)と同じ特性とした。ALPS 処理水の流出後は、海流により拡散希釈が進

み、速やかに濃度は低下するが、流速が小さい期間が3～4日継続する場合を考慮し、流出終了後も1週間、被ばくが継続するものとした。なお、その間海水濃度は、保守的に同じ濃度が続くものとした。それぞれのケースについて、年間の作業時間等から被ばく継続期間の時間比例計算で被ばく時間等を設定した。設定した被ばく時間等は表6-2-7のとおり。

表 6-2-7 潜在被ばくの評価に用いる代表的個人の被ばく時間等

項目	ケース1 (27日間)	ケース2 (8日間)
船舶での作業時間	210 時間	63 時間
遊泳時間	7.1 時間	2.1 時間
海岸滞在時間	37 時間	11 時間
漁網の近くの作業時間	140 時間	42 時間
海産物摂取量	海産物を多く摂取する個人の 摂取量 27 日分	海産物を多く摂取する個人の 摂取量 8 日分

被ばく評価地点は、通常時被ばくで使用した発電所北側の砂浜評価地点付近とし、保守的にすべての経路で砂浜評価地点付近の海水中濃度を使用した。

(5) 線量評価の方法

代表的個人の被ばく量を、GSG-10の5.69に記載されている、保守的な潜在被ばくシナリオに基づく簡易な評価を行うことが必要な施設または活動に対する代表的な基準である5 mSvと比較する。

6-2-2. 評価結果

(1) 評価に使用する海水中濃度

評価に使用する海水中濃度は、発電所北側の砂浜評価地点付近の濃度とし、5, 6号機放水口からトリチウムを年間を通じて均等に年間 22 兆 Bq 放出する場合（ $6.0E+10$ Bq/日に相当）のシミュレーションの結果を基に、下記の通り求めた。

・ケース 1（配管破断）

2014 年と 2019 年のトリチウムのシミュレーション結果から、評価地点の日平均トリチウム濃度の 20 日間移動平均濃度を各 1 年分計算し、各年の最大値を求めた。結果を表 6-2-8 に示す。2 年間の結果のうち、濃度の高い 2014 年の 5.6Bq/L を評価に使用した。

さらに、この濃度はトリチウムの日放出量 $6.0E+10$ Bq/日に対する濃度であることから、表 6-2-1～3 の核種ごとの日放出量との比例計算により、核種ごとの濃度を求めた。評価に使用した核種ごとの濃度を表 6-2-9～6-2-11 に示した。

・ケース 2（タンク破損）

2014 年と 2019 年のトリチウムのシミュレーション結果から、評価地点の日平均トリチウム濃度の各年の最大値を求めた。結果を表 6-2-8 に示す。2 年間の結果のうち、濃度の高い 2014 年の 15Bq/L を評価に使用した。

さらに、この濃度はトリチウムの日放出量 $6.0E+10$ Bq/日に対する濃度であることから、表 6-2-4～6 の核種ごとの日放出量との比例計算により、核種ごとの濃度を求めた。評価に使用した核種ごとの濃度を表 6-2-9～6-2-11 に示した。

**表 6-2-8 潜在被ばくの評価の基となる砂浜評価地点付近の海水中トリチウム濃度
(5, 6 号機放水口から年間を通じて均等に 22 兆 Bq 放出するシミュレーションの日平均濃度から算出)**

評価年	ケース 1（配管破断）	ケース 2（タンク破損）
	20 日間移動平均濃度の最大値 (Bq/L)	日平均濃度の最大値 (Bq/L)
2014 年	5.6	15
2019 年	5.5	12

表 6-2-9 評価に使用する海水濃度 (K4 タンク群の核種組成によるソースターム)

対象 核種	ケース 1 (配管破断)		ケース 2 (タンク破損)	
	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)
H-3	9.5E+10	8.8E+00	5.7E+12	1.4E+03
C-14	7.5E+06	7.0E-04	4.5E+08	1.1E-01
Mn-54	3.4E+03	3.1E-07	2.0E+05	5.0E-05
Fe-59	8.5E+03	7.9E-07	5.1E+05	1.3E-04
Co-58	4.0E+03	3.7E-07	2.4E+05	6.0E-05
Co-60	2.2E+05	2.0E-05	1.3E+07	3.3E-03
Ni-63	1.1E+06	1.0E-04	6.6E+07	1.6E-02
Zn-65	7.5E+03	7.0E-07	4.5E+05	1.1E-04
Rb-86	9.5E+04	8.8E-06	5.7E+06	1.4E-03
Sr-89	5.0E+04	4.6E-06	3.0E+06	7.5E-04
Sr-90	1.1E+05	1.0E-05	6.6E+06	1.6E-03
Y-90	1.1E+05	1.0E-05	6.6E+06	1.6E-03
Y-91	1.1E+06	1.0E-04	6.6E+07	1.6E-02
Nb-95	5.0E+03	4.6E-07	3.0E+05	7.5E-05
Tc-99	3.5E+05	3.3E-05	2.1E+07	5.2E-03
Ru-103	5.0E+03	4.6E-07	3.0E+05	7.5E-05
Ru-106	8.0E+05	7.4E-05	4.8E+07	1.2E-02
Rh-103m	5.0E+03	4.6E-07	3.0E+05	7.5E-05
Rh-106	8.0E+05	7.4E-05	4.8E+07	1.2E-02
Ag-110m	2.8E+03	2.6E-07	1.7E+05	4.2E-05
Cd-113m	9.0E+03	8.4E-07	5.4E+05	1.3E-04
Cd-115m	3.2E+05	3.0E-05	1.9E+07	4.8E-03
Sn-119m	8.5E+04	7.9E-06	5.1E+06	1.3E-03
Sn-123	6.0E+05	5.6E-05	3.6E+07	9.0E-03
Sn-126	1.4E+04	1.3E-06	8.1E+05	2.0E-04
Sb-124	4.8E+03	4.4E-07	2.9E+05	7.1E-05
Sb-125	1.7E+05	1.5E-05	9.9E+06	2.5E-03
Te-123m	4.6E+03	4.3E-07	2.8E+05	6.9E-05
Te-125m	1.7E+05	1.5E-05	9.9E+06	2.5E-03

対象 核種	ケース 1 (配管破断)		ケース 2 (タンク破損)	
	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)
Te-127	1.6E+05	1.5E-05	9.6E+06	2.4E-03
Te-127m	1.6E+05	1.5E-05	9.6E+06	2.4E-03
Te-129	4.1E+04	3.8E-06	2.4E+06	6.0E-04
Te-129m	1.6E+05	1.5E-05	9.6E+06	2.4E-03
I-129	1.1E+06	9.8E-05	6.3E+07	1.6E-02
Cs-134	2.3E+04	2.1E-06	1.4E+06	3.4E-04
Cs-135	1.3E+00	1.2E-10	7.5E+01	1.9E-08
Cs-136	1.5E+04	1.4E-06	9.0E+05	2.2E-04
Cs-137	2.1E+05	2.0E-05	1.3E+07	3.1E-03
Ba-137m	2.1E+05	2.0E-05	1.3E+07	3.1E-03
Ba-140	4.8E+04	4.4E-06	2.9E+06	7.1E-04
Ce-141	1.3E+04	1.2E-06	7.5E+05	1.9E-04
Ce-144	3.2E+04	2.9E-06	1.9E+06	4.7E-04
Pr-144	3.2E+04	2.9E-06	1.9E+06	4.7E-04
Pr-144m	3.2E+04	2.9E-06	1.9E+06	4.7E-04
Pm-146	4.9E+04	4.6E-06	2.9E+06	7.3E-04
Pm-147	9.5E+04	8.8E-06	5.7E+06	1.4E-03
Pm-148	2.5E+05	2.3E-05	1.5E+07	3.7E-03
Pm-148m	4.2E+03	3.9E-07	2.5E+05	6.3E-05
Sm-151	4.5E+02	4.2E-08	2.7E+04	6.7E-06
Eu-152	1.4E+04	1.3E-06	8.4E+05	2.1E-04
Eu-154	6.0E+03	5.6E-07	3.6E+05	9.0E-05
Eu-155	1.7E+04	1.5E-06	9.9E+05	2.5E-04
Gd-153	1.6E+04	1.5E-06	9.6E+05	2.4E-04
Tb-160	1.4E+04	1.3E-06	8.4E+05	2.1E-04
Pu-238	3.2E+02	2.9E-08	1.9E+04	4.7E-06
Pu-239	3.2E+02	2.9E-08	1.9E+04	4.7E-06
Pu-240	3.2E+02	2.9E-08	1.9E+04	4.7E-06
Pu-241	1.4E+04	1.3E-06	8.4E+05	2.1E-04
Am-241	3.2E+02	2.9E-08	1.9E+04	4.7E-06
Am-242m	2.0E+01	1.8E-09	1.2E+03	2.9E-07

対象 核種	ケース 1 (配管破断)		ケース 2 (タンク破損)	
	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)
Am-243	3.2E+02	2.9E-08	1.9E+04	4.7E-06
Cm-242	3.2E+02	2.9E-08	1.9E+04	4.7E-06
Cm-243	3.2E+02	2.9E-08	1.9E+04	4.7E-06
Cm-244	3.2E+02	2.9E-08	1.9E+04	4.7E-06

表 6-2-10 評価に使用する海水濃度 (J1-C タンク群の核種組成によるソースターム)

対象 核種	ケース 1 (配管破断)		ケース 2 (タンク破損)	
	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)
H-3	4.1E+11	3.8E+01	2.5E+13	6.1E+03
C-14	9.0E+06	8.4E-04	5.4E+08	1.3E-01
Mn-54	1.9E+04	1.8E-06	1.1E+06	2.8E-04
Fe-59	4.4E+04	4.0E-06	2.6E+06	6.5E-04
Co-58	2.1E+04	1.9E-06	1.2E+06	3.1E-04
Co-60	1.7E+05	1.5E-05	9.9E+06	2.5E-03
Ni-63	4.3E+06	3.9E-04	2.6E+08	6.3E-02
Zn-65	4.7E+04	4.4E-06	2.8E+06	7.0E-04
Rb-86	2.5E+05	2.3E-05	1.5E+07	3.7E-03
Sr-89	2.7E+04	2.5E-06	1.6E+06	4.0E-04
Sr-90	1.8E+04	1.7E-06	1.1E+06	2.7E-04
Y-90	1.8E+04	1.7E-06	1.1E+06	2.7E-04
Y-91	8.5E+06	7.9E-04	5.1E+08	1.3E-01
Nb-95	2.5E+04	2.3E-06	1.5E+06	3.7E-04
Tc-99	6.0E+05	5.6E-05	3.6E+07	9.0E-03
Ru-103	2.7E+04	2.5E-06	1.6E+06	4.0E-04
Ru-106	7.0E+05	6.5E-05	4.2E+07	1.0E-02
Rh-103m	2.7E+04	2.5E-06	1.6E+06	4.0E-04
Rh-106	7.0E+05	6.5E-05	4.2E+07	1.0E-02
Ag-110m	2.2E+04	2.0E-06	1.3E+06	3.2E-04

対象 核種	ケース 1 (配管破断)		ケース 2 (タンク破損)	
	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)
Cd-113m	4.3E+04	3.9E-06	2.6E+06	6.3E-04
Cd-115m	1.4E+06	1.3E-04	8.1E+07	2.0E-02
Sn-119m	2.1E+07	2.0E-03	1.3E+09	3.1E-01
Sn-123	3.3E+06	3.1E-04	2.0E+08	4.9E-02
Sn-126	1.5E+05	1.3E-05	8.7E+06	2.2E-03
Sb-124	4.9E+04	4.5E-06	2.9E+06	7.2E-04
Sb-125	1.2E+05	1.1E-05	6.9E+06	1.7E-03
Te-123m	4.6E+04	4.3E-06	2.8E+06	6.9E-04
Te-125m	1.2E+05	1.1E-05	6.9E+06	1.7E-03
Te-127	2.4E+06	2.2E-04	1.4E+08	3.5E-02
Te-127m	2.5E+06	2.3E-04	1.5E+08	3.7E-02
Te-129	3.1E+05	2.9E-05	1.9E+07	4.6E-03
Te-129m	7.0E+05	6.5E-05	4.2E+07	1.0E-02
I-129	6.0E+05	5.6E-05	3.6E+07	9.0E-03
Cs-134	3.8E+04	3.5E-06	2.3E+06	5.7E-04
Cs-135	6.0E-01	5.6E-11	3.6E+01	9.0E-09
Cs-136	2.4E+04	2.2E-06	1.4E+06	3.5E-04
Cs-137	9.5E+04	8.8E-06	5.7E+06	1.4E-03
Ba-137m	9.5E+04	8.8E-06	5.7E+06	1.4E-03
Ba-140	1.0E+05	9.3E-06	6.0E+06	1.5E-03
Ce-141	1.3E+05	1.2E-05	7.8E+06	1.9E-03
Ce-144	2.9E+05	2.6E-05	1.7E+07	4.3E-03
Pr-144	2.9E+05	2.6E-05	1.7E+07	4.3E-03
Pr-144m	2.9E+05	2.6E-05	1.7E+07	4.3E-03
Pm-146	3.4E+04	3.1E-06	2.0E+06	5.0E-04
Pm-147	4.0E+05	3.7E-05	2.4E+07	6.0E-03
Pm-148	1.2E+05	1.1E-05	6.9E+06	1.7E-03
Pm-148m	2.4E+04	2.2E-06	1.4E+06	3.6E-04
Sm-151	5.5E+03	5.1E-07	3.3E+05	8.2E-05
Eu-152	1.4E+05	1.3E-05	8.4E+06	2.1E-03
Eu-154	5.5E+04	5.1E-06	3.3E+06	8.2E-04

対象 核種	ケース 1 (配管破断)		ケース 2 (タンク破損)	
	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)
Eu-155	1.7E+05	1.6E-05	1.0E+07	2.5E-03
Gd-153	1.3E+05	1.2E-05	7.8E+06	1.9E-03
Tb-160	7.0E+04	6.5E-06	4.2E+06	1.0E-03
Pu-238	1.7E+04	1.5E-06	9.9E+05	2.5E-04
Pu-239	1.7E+04	1.5E-06	9.9E+05	2.5E-04
Pu-240	1.7E+04	1.5E-06	9.9E+05	2.5E-04
Pu-241	6.0E+05	5.6E-05	3.6E+07	9.0E-03
Am-241	1.7E+04	1.5E-06	9.9E+05	2.5E-04
Am-242m	3.0E+02	2.7E-08	1.8E+04	4.4E-06
Am-243	1.7E+04	1.5E-06	9.9E+05	2.5E-04
Cm-242	1.7E+04	1.5E-06	9.9E+05	2.5E-04
Cm-243	1.7E+04	1.5E-06	9.9E+05	2.5E-04
Cm-244	1.7E+04	1.5E-06	9.9E+05	2.5E-04

表 6-2-11 評価に使用する海水濃度 (J1-G タンク群の核種組成によるソースターム)

対象 核種	ケース 1 (配管破断)		ケース 2 (タンク破損)	
	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)
H-3	1.4E+11	1.3E+01	8.1E+12	2.0E+03
C-14	8.0E+06	7.4E-04	4.8E+08	1.2E-01
Mn-54	1.9E+04	1.8E-06	1.1E+06	2.8E-04
Fe-59	3.6E+04	3.3E-06	2.2E+06	5.4E-04
Co-58	1.9E+04	1.7E-06	1.1E+06	2.8E-04
Co-60	1.2E+05	1.1E-05	6.9E+06	1.7E-03
Ni-63	4.4E+06	4.1E-04	2.6E+08	6.6E-02
Zn-65	4.0E+04	3.7E-06	2.4E+06	6.0E-04
Rb-86	2.4E+05	2.2E-05	1.4E+07	3.5E-03
Sr-89	2.3E+04	2.1E-06	1.4E+06	3.4E-04
Sr-90	1.6E+04	1.5E-06	9.6E+05	2.4E-04

対象 核種	ケース 1 (配管破断)		ケース 2 (タンク破損)	
	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)
Y-90	1.6E+04	1.5E-06	9.6E+05	2.4E-04
Y-91	6.0E+06	5.6E-04	3.6E+08	9.0E-02
Nb-95	2.4E+04	2.2E-06	1.4E+06	3.5E-04
Tc-99	6.5E+05	6.0E-05	3.9E+07	9.7E-03
Ru-103	2.6E+04	2.4E-06	1.5E+06	3.8E-04
Ru-106	2.4E+05	2.2E-05	1.4E+07	3.6E-03
Rh-103m	2.6E+04	2.4E-06	1.5E+06	3.8E-04
Rh-106	2.4E+05	2.2E-05	1.4E+07	3.6E-03
Ag-110m	2.0E+04	1.9E-06	1.2E+06	3.0E-04
Cd-113m	4.3E+04	4.0E-06	2.6E+06	6.4E-04
Cd-115m	1.2E+06	1.1E-04	6.9E+07	1.7E-02
Sn-119m	2.0E+07	1.9E-03	1.2E+09	3.0E-01
Sn-123	3.2E+06	2.9E-04	1.9E+08	4.7E-02
Sn-126	7.5E+04	7.0E-06	4.5E+06	1.1E-03
Sb-124	4.2E+04	3.9E-06	2.5E+06	6.3E-04
Sb-125	7.0E+04	6.5E-06	4.2E+06	1.0E-03
Te-123m	3.4E+04	3.1E-06	2.0E+06	5.0E-04
Te-125m	7.0E+04	6.5E-06	4.2E+06	1.0E-03
Te-127	2.2E+06	2.0E-04	1.3E+08	3.2E-02
Te-127m	2.3E+06	2.1E-04	1.4E+08	3.4E-02
Te-129	3.0E+05	2.7E-05	1.8E+07	4.4E-03
Te-129m	6.0E+05	5.6E-05	3.6E+07	9.0E-03
I-129	1.7E+05	1.5E-05	9.9E+06	2.5E-03
Cs-134	3.4E+04	3.1E-06	2.0E+06	5.0E-04
Cs-135	1.1E+00	9.8E-11	6.3E+01	1.6E-08
Cs-136	1.8E+04	1.7E-06	1.1E+06	2.7E-04
Cs-137	1.7E+05	1.5E-05	9.9E+06	2.5E-03
Ba-137m	1.7E+05	1.5E-05	9.9E+06	2.5E-03
Ba-140	8.5E+04	7.9E-06	5.1E+06	1.3E-03
Ce-141	6.0E+04	5.6E-06	3.6E+06	9.0E-04
Ce-144	2.8E+05	2.6E-05	1.7E+07	4.1E-03

対象 核種	ケース 1 (配管破断)		ケース 2 (タンク破損)	
	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)	日放出量 (Bq/日)	砂浜評価地点付近 の海水中濃度 (Bq/L)
Pr-144	2.8E+05	2.6E-05	1.7E+07	4.1E-03
Pr-144m	2.8E+05	2.6E-05	1.7E+07	4.1E-03
Pm-146	3.2E+04	2.9E-06	1.9E+06	4.7E-04
Pm-147	3.6E+05	3.3E-05	2.2E+07	5.4E-03
Pm-148	2.3E+05	2.1E-05	1.4E+07	3.4E-03
Pm-148m	2.1E+04	1.9E-06	1.2E+06	3.1E-04
Sm-151	5.0E+03	4.6E-07	3.0E+05	7.5E-05
Eu-152	9.5E+04	8.8E-06	5.7E+06	1.4E-03
Eu-154	5.0E+04	4.6E-06	3.0E+06	7.5E-04
Eu-155	9.0E+04	8.4E-06	5.4E+06	1.3E-03
Gd-153	9.5E+04	8.8E-06	5.7E+06	1.4E-03
Tb-160	7.0E+04	6.5E-06	4.2E+06	1.0E-03
Pu-238	1.4E+04	1.3E-06	8.4E+05	2.1E-04
Pu-239	1.4E+04	1.3E-06	8.4E+05	2.1E-04
Pu-240	1.4E+04	1.3E-06	8.4E+05	2.1E-04
Pu-241	5.0E+05	4.6E-05	3.0E+07	7.5E-03
Am-241	1.4E+04	1.3E-06	8.4E+05	2.1E-04
Am-242m	2.6E+02	2.4E-08	1.5E+04	3.8E-06
Am-243	1.4E+04	1.3E-06	8.4E+05	2.1E-04
Cm-242	1.4E+04	1.3E-06	8.4E+05	2.1E-04
Cm-243	1.4E+04	1.3E-06	8.4E+05	2.1E-04
Cm-244	1.4E+04	1.3E-06	8.4E+05	2.1E-04

(2) 被ばく評価結果

(1) で求めた海水中濃度を用いて計算した、潜在被ばくの評価結果を表 6-2-12 に示す。結果は、0.0007 (7E-04) mSv~0.3 (3E-01) mSv と、事故時の基準 5mSv を下回っている。

表 6-2-12 潜在被ばくの評価結果

評価 ケース	ソース ターム	ケース 1 (配管破断)			ケース 2 (タンク破損)		
		K4 タンク群	J1-C タンク群	J1-G タンク群	K4 タンク群	J1-C タンク群	J1-G タンク群
	海産物 摂取量	多い	多い	多い	多い	多い	多い
外部 被ばく (mSv)	海水面	3.5E-08	4.0E-07	3.6E-07	1.7E-06	1.9E-05	1.7E-05
	船体	2.5E-08	2.8E-07	2.5E-07	1.2E-06	1.4E-05	1.2E-05
	遊泳中	3.3E-09	3.8E-08	3.4E-08	1.6E-07	1.8E-06	1.6E-06
	海浜砂	5.8E-06	6.7E-05	5.9E-05	2.8E-04	3.2E-03	2.8E-03
	漁網	1.8E-05	2.1E-04	1.9E-04	8.9E-04	1.0E-02	9.1E-03
内部 被ばく (mSv)	飲水	2.4E-07	9.9E-07	3.3E-07	1.2E-05	4.7E-05	1.6E-05
	しぶき 吸入	6.9E-08	6.4E-07	4.2E-07	3.3E-06	3.1E-05	2.0E-05
	海産物 摂取	7.1E-04	5.4E-03	4.9E-03	3.4E-02	2.6E-01	2.4E-01
合計 (mSv)		7E-04	6E-03	5E-03	4E-02	3E-01	2E-01

7. 環境防護に関する評価

環境防護に関する評価の方法は、GSG-10 附属書 I とされている。本報告書においては、GSG-10 附属書 I の手順にしたがって環境防護に関する評価を試みた。

7-1. 評価の考え方

GSG-10 附属書 I に示されている、通常運転時における動植物の防護のための評価を行う。

7-1-1. 評価手順

図 7-1 の手順にて評価を行う。

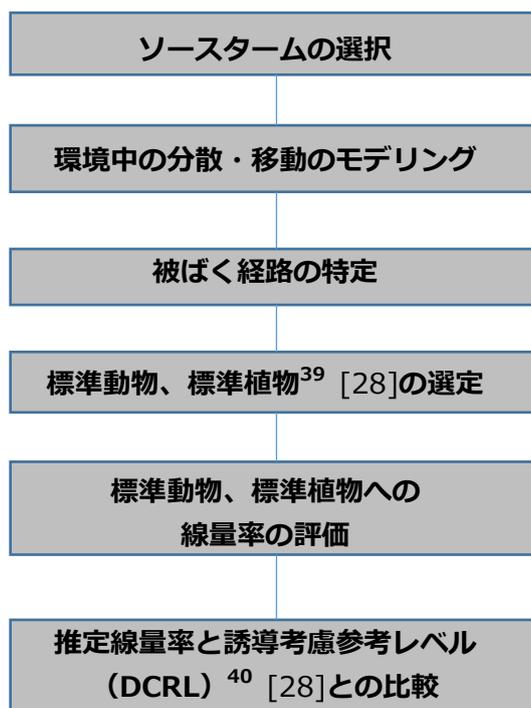


図 7-1 環境防護に関する評価の手順 (GSG-10 より作成)

³⁹ 標準動物、標準植物：環境からの放射線被ばくを、線量と影響に関連付けるために想定する、特定タイプの動植物。

⁴⁰ 誘導考慮参考レベル(DCRL, Derived consideration reference level)：ICRP が提唱する生物種ごとに定められた 1 桁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。

7-2. 評価方法

7-2-1. ソースターム

6-1-2.(1) ソースタームと同じソースタームを使用する。

7-2-2. 放出後の拡散、移行のモデリング

(1) 移行モデルの選定

海洋に放出された放射性物質の移行モデルとしては、GSG-10 の記載の通り、人の被ばく評価と同じ経路の中から、海生動植物の生息環境を考慮して以下を選定した。

i. 海流等による移流、拡散

海洋に放出後、海洋で移流、拡散すると考えられることから選定した。

ii. 海流等による移流、拡散→海底の堆積物への移行

海洋に放出後、海流等による移流、拡散で、ALPS 処理水が海底堆積物等へ移行すると考えられることから選定した。

iii. 海流等による移流、拡散→魚介類等海生動植物による取り込み、濃縮

海洋に放出後、魚介類に移行、濃縮されると考えられることから選定した。

(2) 海域における移流、拡散の評価

人の防護に関する評価と同じモデルを使用する。

7-2-3. 被ばく経路の設定

GSG-10 附属書 I -21 より、以下の経路を選定した。

i. 動植物が摂取または吸入した放射性物質による内部被ばく

ii. 周囲の海水からの外部被ばく

iii. 周囲の海底堆積物からの外部被ばく

具体的な評価手法を以下に示す。

①動植物が摂取または吸入した放射性物質による内部被ばく

標準動物、標準植物が受ける、海水から体内に取り込んだ放射性物質からの放射線による吸収線量率 D_{int} (mGy/日) の計算式を式(7-1)に示す。

$$D_{int} = \sum_i (DCF_{int})_{ki} \cdot (x_9)_i \cdot (CR)_{ki} \quad (7-1)$$

ここで、

$(DCF_{int})_{ki}$ は核種 i の海生動植物 k に対する内部被ばく線量換算係数
 ((mGy/日)/(Bq/kg))

$(x_9)_i$ は核種 i の海水中濃度(Bq/L)

$(CR)_{ki}$ は核種 i における海生動植物 k と海水の濃度比((Bq/kg)/(Bq/L))

②海水、海底堆積物からの外部被ばく

周囲を海水に囲まれた動植物の吸収線量率 $D_{ext,sw}$ (mGy/日) は、(7-2) 式より計算する。

$$D_{ext,sw} = \sum_i (DCF_{ext})_{ki} \cdot \frac{(x_9)_i}{\rho_w} \quad (7-2)$$

ここで、

$(DCF_{ext})_{ki}$ は核種 i の海生動植物 k に対する外部被ばく線量換算係数
 ((mGy/日)/(Bq/kg))

$(x_9)_i$ は核種 i の海水中濃度(Bq/L)

ρ_w は海水の密度(kg/L)

である。

同様に、周囲を海底堆積物に囲まれた動植物の吸収線量率 $D_{ext,sed}$ (mGy/日) は、(7-3) 式より計算する。

$$D_{ext,sed} = \sum_i (DCF_{ext})_{ki} \cdot (x_9)_i \cdot (K_d)_i \quad (7-3)$$

ここで、

$(DCF_{ext})_{ki}$ は核種 i の海生動植物 k に対する外部被ばく線量換算係数
 ((mGy/日)/(Bq/kg))

$(x_9)_i$ は核種 i の海水中濃度(Bq/L)

$(K_d)_i$ は核種 i の海水から堆積物への濃度分配係数((Bq/kg)/(Bq/L))

である。

海水と海底堆積物両方から被ばくを受ける場合の外部被ばく D_{ext} は、両方の被ばくの合計であるが、海底面に生息する動植物は、上半分の海水と下半分の海底堆積物両方から半分ずつ被ばくすることから、(7-4)式により計算する。

$$D_{ext}=0.5 \cdot D_{ext,sw} + 0.5 \cdot D_{ext,sed} \quad (7-4)$$

動植物に対する内部被ばく線量換算係数および外部被ばく線量換算係数⁴¹は、ICRP Publication 136 "Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation"(ICRP,2017) [29] (以下、「ICRP Pub.136」) および ICRP の BiotaDC プログラム [30]より引用した(表 7-2-1、7-2-2 に示す)。なお、Sn-126 の線量換算係数のみ BiotaDC で計算できなかったため、保守的な値として、内部被ばく線量換算係数は Ru-106、外部被ばく線量換算係数は Ag-110m の値を用いた。

動植物と海水の濃度比⁴²は、ICRP Publication 114 "Environmental Protection : Transfer Parameters for Reference Animals and Plants"(ICRP,2009) [31] (以下、「ICRP Pub.114」) および IAEA Technical report series No.479 "Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife" (以下、「TRS-479」) より引用したが、ここに示されていない元素については、TRS-422 [24]の濃縮係数を引用した(表 7-2-3 に示す)。海水と海底の堆積物の濃度分配係数は、TRS-422 の 2.3.OCEAN MARGIN Kds に定める係数を使用した(表 7-2-4 に示す)。

⁴¹ 動植物への線量換算係数：環境の放射性核種による生物への内部被ばくと外部被ばく線量を簡略化して計算するために定められた値。

⁴² 濃度比 (CR, Concentration ratio)：動植物に対する環境からの放射線被ばく評価への利用を目的として、水圏に生息する水棲生物中放射性核種濃度の、環境水中濃度に対する比率を、経験的に求めた移行係数である (ICRP, 2009)。濃縮係数のように可食部には限らない。

7-2-4. 標準動物、標準植物（評価対象となる生物）の選定

発電所のある福島県沿岸には、多年生海藻のアラメを主体とした小規模な藻場が広く分布している [32]。発電所周辺に、天然記念物に指定された海生動植物の生息地のような特別な海域は見られない [33]ことから、ICRP Pub.136 に示されている標準動物、標準植物として以下を選定した。

- ・標準扁平魚（発電所周辺海域には、ヒラメ、カレイ類が広く生息）
- ・標準カニ（発電所周辺海域には、ヒラツメガニ、ガザミが広く生息）
- ・標準褐藻（発電所周辺海域には、ホンダワラ類、アラメが広く分布）

これらの動植物は、発電所周辺海域に広く分布することから、評価に使用する海水の放射性物質濃度は、GSG-10 附属書 I の I-23. で推奨している 100-400km² とも合致する、発電所周辺 10km×10km の年間平均濃度とした。また、動植物の評価においては、海底堆積物に移行した放射性物質からの外部被ばくの影響が海水よりも大きいこと、および選定した標準扁平魚は海底に生息することから、海底付近（最下層）の濃度を使用する。

7-2-5. 線量評価

線量評価は、標準動植物の種類ごとに、ICRP Publication 124 “Protection of the Environment under Different Exposure Situations”にて示されている誘導考慮参考レベル（DCRL）との比較により行う。

表 7-2-1 海生動植物に対する内部被ばく線量換算係数 (ICRP Pub.136、それ以外は備考に付記)

	対象核種	内部被ばく線量換算係数 ((mGy/日)/(Bq/kg))			備考
		扁平魚	カニ	褐藻	
1	H-3	7.9E-08	7.9E-08	7.9E-08	
2	C-14	7.0E-07	7.0E-07	7.0E-07	
3	Mn-54	1.1E-06	1.4E-06	9.4E-07	
4	Fe-59	2.9E-06	3.4E-06	2.0E-06	BiotaDC にて算出した
5	Co-58	1.6E-06	2.1E-06	1.5E-06	
6	Co-60	3.8E-06	5.0E-06	3.6E-06	
7	Ni-63	2.4E-07	2.4E-07	2.4E-07	
8	Zn-65	7.7E-07	1.0E-06	7.0E-07	
9	Rb-86	8.8E-06	9.1E-06	6.9E-06	BiotaDC にて算出した
10	Sr-89	7.7E-06	7.9E-06	7.7E-06	
11	Sr-90	1.4E-05	1.5E-05	1.4E-05	
12	Y-90	—	—	—	親核種 Sr-90 に含まれる
13	Y-91	8.0E-06	8.1E-06	6.4E-06	BiotaDC にて算出した
14	Nb-95	1.5E-06	1.9E-06	1.4E-06	
15	Tc-99	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	
16	Ru-103	2.1E-06	2.3E-06	2.0E-06	
17	Ru-106	1.7E-05	1.9E-05	1.7E-05	
18	Rh-103m	—	—	—	親核種 Ru-103 に含まれる
19	Rh-106	—	—	—	親核種 Ru-106 に含まれる
20	Ag-110m	4.3E-06	5.5E-06	4.1E-06	BiotaDC にて算出した
21	Cd-113m	2.5E-06	2.5E-06	2.4E-06	BiotaDC にて算出した
22	Cd-115m	8.0E-06	8.2E-06	6.4E-06	BiotaDC にて算出した
23	Sn-119m	1.2E-06	1.2E-06	1.1E-06	BiotaDC にて算出した
24	Sn-123	7.0E-06	7.1E-06	5.8E-06	BiotaDC にて算出した
25	Sn-126	1.7E-05	1.9E-05	1.7E-05	出典元で数値が与えられていない核種であるため、Ru-106 の値を使用
26	Sb-124	7.0E-06	7.9E-06	6.7E-06	
27	Sb-125	2.0E-06	2.2E-06	1.9E-06	
28	Te-123m	1.6E-06	1.7E-06	1.4E-06	BiotaDC にて算出した
29	Te-125m	1.7E-06	1.8E-06	1.6E-06	BiotaDC にて算出した
30	Te-127	3.1E-06	3.1E-06	2.9E-06	BiotaDC にて算出した
31	Te-127m	4.2E-06	4.2E-06	4.0E-06	BiotaDC にて算出した

	対象核種	内部被ばく線量換算係数 ((mGy/日)/(Bq/kg))			備考
		扁平魚	カニ	褐藻	
32	Te-129	—	—	—	親核種 Te-129m に含まれる
33	Te-129m	8.4E-06	8.6E-06	8.2E-06	
34	I-129	1.0E-06	1.1E-06	1.0E-06	
35	Cs-134	4.1E-06	4.8E-06	3.8E-06	
36	Cs-135	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	
37	Cs-136	4.3E-06	5.3E-06	4.1E-06	
38	Cs-137	4.1E-06	4.3E-06	4.1E-06	
39	Ba-137m	—	—	—	親核種 Cs-137 に含まれる
40	Ba-140	1.4E-05	1.5E-05	1.4E-05	
41	Ce-141	2.4E-06	2.6E-06	2.4E-06	
42	Ce-144	1.6E-05	1.7E-05	1.6E-05	
43	Pr-144	—	—	—	親核種 Ce-144 に含まれる
44	Pr-144m	—	—	—	親核種 Ce-144 に含まれる
45	Pm-146	2.3E-06	2.6E-06	1.5E-06	BiotaDC にて算出した
46	Pm-147	8.6E-07	8.6E-07	8.5E-07	BiotaDC にて算出した
47	Pm-148	9.9E-06	1.1E-05	7.3E-06	BiotaDC にて算出した
48	Pm-148m	5.2E-06	6.1E-06	3.3E-06	BiotaDC にて算出した
49	Sm-151	2.8E-07	2.8E-07	2.8E-07	BiotaDC にて算出した
50	Eu-152	3.1E-06	3.6E-06	2.9E-06	
51	Eu-154	5.0E-06	5.8E-06	5.0E-06	
52	Eu-155	1.0E-06	1.0E-06	9.8E-07	
53	Gd-153	8.5E-07	9.2E-07	7.0E-07	BiotaDC にて算出した
54	Tb-160	4.8E-06	5.4E-06	3.7E-06	BiotaDC にて算出した
55	Pu-238	7.7E-05	7.7E-05	7.7E-05	
56	Pu-239	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	
57	Pu-240	7.2E-05	7.2E-05	7.2E-05	
58	Pu-241	7.4E-08	7.4E-08	7.4E-08	
59	Am-241	7.7E-05	7.7E-05	7.7E-05	
60	Am-242m	3.6E-06	3.6E-06	3.4E-06	BiotaDC にて算出した
61	Am-243	7.9E-05	7.9E-05	7.8E-05	BiotaDC にて算出した
62	Cm-242	8.6E-05	8.6E-05	8.6E-05	
63	Cm-243	8.4E-05	8.4E-05	8.4E-05	

	対象核種	内部被ばく線量換算係数 ((mGy/日) / (Bq/kg))			備考
		扁平魚	カニ	褐藻	
64	Cm-244	8.2E-05	8.2E-05	8.2E-05	

表 7-2-2 海生動植物に対する外部被ばく線量換算係数 (ICRP Pub.136、それ以外は備考に付記)

	対象核種	外部被ばく線量換算係数 ((mGy/日) / (Bq/kg))			備考
		扁平魚	カニ	褐藻	
1	H-3	1.9E-14	2.4E-16	2.4E-16	
2	C-14	4.3E-10	5.3E-10	5.3E-10	
3	Mn-54	1.1E-05	1.0E-05	1.1E-05	
4	Fe-59	1.5E-05	1.5E-05	1.6E-05	BiotaDC にて算出した
5	Co-58	1.2E-05	1.2E-05	1.2E-05	
6	Co-60	3.1E-05	3.1E-05	3.4E-05	
7	Ni-63	2.6E-11	4.1E-11	4.1E-11	
8	Zn-65	7.4E-06	7.2E-06	7.4E-06	
9	Rb-86	1.7E-06	1.4E-06	3.7E-06	BiotaDC にて算出した
10	Sr-89	3.6E-07	2.0E-07	4.1E-07	
11	Sr-90	1.2E-06	5.5E-07	1.2E-06	
12	Y-90	—	—	—	親核種 Sr-90 に含まれる
13	Y-91	4.4E-07	2.5E-07	2.0E-06	BiotaDC にて算出した
14	Nb-95	9.6E-06	9.4E-06	9.8E-06	
15	Tc-99	3.1E-09	3.4E-09	3.6E-09	
16	Ru-103	6.2E-06	6.0E-06	6.2E-06	
17	Ru-106	5.3E-06	3.8E-06	5.3E-06	
18	Rh-103m	—	—	—	親核種 Ru-103 に含まれる
19	Rh-106m	—	—	—	親核種 Ru-106 に含まれる
20	Ag-110m	3.6E-05	3.4E-05	3.6E-05	
21	Cd-113m	1.7E-08	1.6E-08	1.4E-07	BiotaDC にて算出した
22	Cd-115m	8.2E-07	6.2E-07	2.4E-06	BiotaDC にて算出した
23	Sn-119m	1.0E-07	8.0E-08	1.7E-07	BiotaDC にて算出した
24	Sn-123	3.7E-07	2.5E-07	1.6E-06	BiotaDC にて算出した

	対象核種	外部被ばく線量換算係数 ((mGy/日) / (Bq/kg))			備考
		扁平魚	カニ	褐藻	
25	Sn-126	3.6E-05	3.4E-05	3.6E-05	出典元で数値が与えられていない核種であるため、Ag-110m の値を使用
26	Sb-124	2.4E-05	2.3E-05	2.4E-05	
27	Sb-125	5.5E-06	5.3E-06	5.5E-06	
28	Te-123m	1.8E-06	1.7E-06	2.0E-06	BiotaDC にて算出した
29	Te-125m	2.9E-07	2.4E-07	4.3E-07	BiotaDC にて算出した
30	Te-127	8.9E-08	8.3E-08	2.9E-07	BiotaDC にて算出した
31	Te-127m	1.8E-07	1.6E-07	4.2E-07	BiotaDC にて算出した
32	Te-129	—	—	—	親核種 Te-129m に含まれる
33	Te-129m	1.2E-06	1.1E-06	1.3E-06	
34	I-129	2.2E-07	1.9E-07	2.4E-07	
35	Cs-134	2.0E-05	1.9E-05	2.0E-05	
36	Cs-135	2.2E-09	2.6E-09	2.6E-09	
37	Cs-136	2.6E-05	2.6E-05	2.6E-05	
38	Cs-137	7.2E-06	7.0E-06	7.2E-06	
39	Ba-137m	—	—	—	親核種 Cs-137 に含まれる
40	Ba-140	3.1E-05	3.1E-05	3.4E-05	
41	Ce-141	9.6E-07	9.1E-07	9.8E-07	
42	Ce-144	2.6E-06	1.5E-06	2.6E-06	
43	Pr-144	—	—	—	親核種 Ce-144 に含まれる
44	Pr-144m	—	—	—	親核種 Ce-144 に含まれる
45	Pm-146	9.5E-06	9.1E-06	1.0E-05	BiotaDC にて算出した
46	Pm-147	9.9E-10	1.1E-09	1.0E-08	BiotaDC にて算出した
47	Pm-148	8.1E-06	7.5E-06	1.1E-05	BiotaDC にて算出した
48	Pm-148m	2.5E-05	2.4E-05	2.7E-05	BiotaDC にて算出した
49	Sm-151	7.7E-11	8.4E-11	7.6E-10	BiotaDC にて算出した
50	Eu-152	1.5E-05	1.4E-05	1.5E-05	
51	Eu-154	1.6E-05	1.5E-05	1.6E-05	
52	Eu-155	7.4E-07	7.0E-07	7.4E-07	
53	Gd-153	1.2E-06	1.1E-06	1.4E-06	BiotaDC にて算出した
54	Tb-160	1.4E-05	1.4E-05	1.5E-05	BiotaDC にて算出した

	対象核種	外部被ばく線量換算係数 ((mGy/日) / (Bq/kg))			備考
		扁平魚	カニ	褐藻	
55	Pu-238	4.6E-09	3.8E-09	5.5E-09	
56	Pu-239	2.6E-09	2.3E-09	3.1E-09	
57	Pu-240	4.3E-09	3.6E-09	5.3E-09	
58	Pu-241	1.9E-11	1.9E-11	2.0E-11	
59	Am-241	2.9E-07	2.6E-07	2.9E-07	
60	Am-242m	2.4E-07	2.3E-07	4.2E-07	BiotaDCにて算出した
61	Am-243	2.9E-06	2.8E-06	3.2E-06	BiotaDCにて算出した
62	Cm-242	5.3E-09	4.3E-09	6.2E-09	
63	Cm-243	1.6E-06	1.5E-06	1.6E-06	
64	Cm-244	4.8E-09	3.8E-09	5.5E-09	

表 7-2-3 海生動植物に対する濃度比 (ICRP Pub.114 他、備考に付記)

	対象核種	濃度比 ((Bq/kg-f.w) / (Bq/L))			備考
		扁平魚	カニ	褐藻	
1	H-3	1.0E+00	1.0E+00	3.7E-01	ICRP Pub.114 より引用
2	C-14	1.2E+04	1.0E+04	8.0E+03	ICRP Pub.114 より引用
3	Mn-54	2.6E+03	4.5E+04	1.1E+04	TRS-479 (魚、カニ) より引用 ICRP Pub.114 (褐藻) より引用
4	Fe-59	3.0E+04	5.0E+05	2.0E+04	ICRP Pub.114、TRS-479 に示されていないため TRS-422 の濃縮係数を引用
5	Co-58	1.1E+04	5.5E+03	1.7E+03	TRS-479 より引用
6	Co-60	1.1E+04	5.5E+03	1.7E+03	TRS-479 より引用
7	Ni-63	2.7E+02	6.4E+03	2.0E+03	TRS-479 より引用
8	Zn-65	2.5E+04	3.0E+05	1.3E+04	TRS-479 (魚) より引用 ICRP Pub.114 (カニ、褐藻) より引用
9	Rb-86	1.2E+02	6.3E+01	9.6E+01	同族の Cs の値を使用
10	Sr-89	4.4E+01	1.5E+02	4.3E+01	TRS-479 より引用
11	Sr-90	4.4E+01	1.5E+02	4.3E+01	TRS-479 より引用
12	Y-90	—	—	—	親核種 Sr-90 にて評価する。
13	Y-91	2.0E+01	1.0E+03	1.0E+03	ICRP Pub.114、TRS-479 に示されていないため TRS-422 の濃縮係数を引用
14	Nb-95	3.0E+01	8.8E+02	4.9E+02	ICRP Pub.114 (魚) より引用 TRS-479 (カニ、褐藻) より引用

	対象核種	濃度比 ((Bq/kg-f.w) / (Bq/L))			備考
		扁平魚	カニ	褐藻	
15	Tc-99	8.0E+01	1.8E+04	5.3E+04	ICRP Pub.114 (魚) より引用 TRS-479 (カニ、褐藻) より引用
16	Ru-103	2.9E+01	1.6E+03	1.2E+03	TRS-479 より引用
17	Ru-106	2.9E+01	1.6E+03	1.2E+03	TRS-479 より引用
18	Rh-103m	—	—	—	親核種 Ru-103 にて評価する
19	Rh-106	—	—	—	親核種 Ru-106 にて評価する
20	Ag-110m	1.1E+04	2.0E+05	3.9E+03	TRS-479 (魚、褐藻) より引用 ICRP Pub.114 (カニ) より引用
21	Cd-113m	2.9E+04	1.3E+05	1.6E+03	TRS-479 (魚、カニ) より引用 ICRP Pub.114 (褐藻) より引用
22	Cd-115m	2.9E+04	1.3E+05	1.6E+03	TRS-479 (魚、カニ) より引用 ICRP Pub.114 (褐藻) より引用
23	Sn-119m	5.0E+05	5.0E+05	2.0E+05	ICRP Pub.114、TRS-479 に示されていないため TRS-422 の濃縮係数を引用
24	Sn-123	5.0E+05	5.0E+05	2.0E+05	ICRP Pub.114、TRS-479 に示されていないため TRS-422 の濃縮係数を引用
25	Sn-126	5.0E+05	5.0E+05	2.0E+05	ICRP Pub.114、TRS-479 に示されていないため TRS-422 の濃縮係数を引用
26	Sb-124	6.0E+02	4.7E+02	1.5E+03	ICRP Pub.114 (魚、褐藻) より引用 TRS-479 (カニ) より引用
27	Sb-125	6.0E+02	4.7E+02	1.5E+03	ICRP Pub.114 (魚、褐藻) より引用 TRS-479 (カニ) より引用
28	Te-123m	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	ICRP Pub.114 より引用
29	Te-125m	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	ICRP Pub.114 より引用
30	Te-127	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	ICRP Pub.114 より引用
31	Te-127m	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	ICRP Pub.114 より引用
32	Te-129	—	—	—	親核種 Te-129m にて評価する
33	Te-129m	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	ICRP Pub.114 より引用
34	I-129	9.0E+00	8.8E+03	4.2E+03	ICRP Pub.114 (魚) より引用 TRS-479 (カニ、褐藻) より引用
35	Cs-134	1.2E+02	6.3E+01	9.6E+01	TRS-479 より引用
36	Cs-135	1.2E+02	6.3E+01	9.6E+01	TRS-479 より引用
37	Cs-136	1.2E+02	6.3E+01	9.6E+01	TRS-479 より引用
38	Cs-137	1.2E+02	6.3E+01	9.6E+01	TRS-479 より引用
39	Ba-137m	—	—	—	親核種 Cs-137 にて評価する
40	Ba-140	9.6E+00	8.0E+02	1.6E+03	ICRP Pub.114 より引用
41	Ce-141	3.9E+02	2.2E+03	2.1E+03	TRS-479 より引用
42	Ce-144	3.9E+02	2.2E+03	2.1E+03	TRS-479 より引用
43	Pr-144	—	—	—	親核種 Ce-144 にて評価する
44	Pr-144m	—	—	—	親核種 Ce-144 にて評価する

	対象核種	濃度比 ((Bq/kg-f.w) / (Bq/L))			備考
		扁平魚	カニ	褐藻	
45	Pm-146	7.3E+02	2.4E+04	5.9E+03	同族 Eu の値を使用 (魚、カニ) ICRP114 同族の La の値を使用 (褐藻)
46	Pm-147	7.3E+02	2.4E+04	5.9E+03	同族 Eu の値を使用 (魚、カニ) ICRP114 同族の La の値を使用 (褐藻)
47	Pm-148	7.3E+02	2.4E+04	5.9E+03	同族 Eu の値を使用 (魚、カニ) ICRP114 同族の La の値を使用 (褐藻)
48	Pm-148m	7.3E+02	2.4E+04	5.9E+03	同族 Eu の値を使用 (魚、カニ) ICRP114 同族の La の値を使用 (褐藻)
49	Sm-151	7.3E+02	2.4E+04	5.9E+03	同族 Eu の値を使用 (魚、カニ) ICRP114 同族の La の値を使用 (褐藻)
50	Eu-152	7.3E+02	2.4E+04	1.4E+03	ICRP Pub.114 (魚、カニ) より引用 TRS-479 (褐藻) より引用
51	Eu-154	7.3E+02	2.4E+04	1.4E+03	ICRP Pub.114 (魚、カニ) より引用 TRS-479 (褐藻) より引用
52	Eu-155	7.3E+02	2.4E+04	1.4E+03	ICRP Pub.114 (魚、カニ) より引用 TRS-479 (褐藻) より引用
53	Gd-153	7.3E+02	2.4E+04	5.9E+03	同族 Eu の値を使用 (魚、カニ) ICRP114 同族の La の値を使用 (褐藻)
54	Tb-160	6.0E+01	4.0E+03	2.0E+03	ICRP Pub.114、TRS-479 に示されていないため TRS-422 の濃縮係数を引用
55	Pu-238	2.5E+03	1.7E+03	4.1E+03	TRS-479 より引用
56	Pu-239	2.5E+03	1.7E+03	4.1E+03	TRS-479 より引用
57	Pu-240	2.5E+03	1.7E+03	4.1E+03	TRS-479 より引用
58	Pu-241	2.5E+03	1.7E+03	4.1E+03	TRS-479 より引用
59	Am-241	3.2E+02	9.9E+03	4.3E+02	TRS-479 より引用
60	Am-242m	3.2E+02	9.9E+03	4.3E+02	TRS-479 より引用
61	Am-243	3.2E+02	9.9E+03	4.3E+02	TRS-479 より引用
62	Cm-242	1.9E+02	3.2E+04	1.2E+04	ICRP Pub.114 (魚) より引用 TRS-479 (カニ、褐藻) より引用
63	Cm-243	1.9E+02	3.2E+04	1.2E+04	ICRP Pub.114 (魚) より引用 TRS-479 (カニ、褐藻) より引用
64	Cm-244	1.9E+02	3.2E+04	1.2E+04	ICRP Pub.114 (魚) より引用 TRS-479 (カニ、褐藻) より引用

表 7-2-4 海水と海底の堆積物の濃度分配係数 (TRS-422、それ以外は備考に付記)

	対象核種	濃度分配係数 ((Bq/kg) / (Bq/L))	備考
1	H-3	1.0E+00	
2	C-14	1.0E+03	
3	Mn-54	2.0E+06	
4	Fe-59	3.0E+08	
5	Co-58	3.0E+05	
6	Co-60	3.0E+05	
7	Ni-63	2.0E+04	
8	Zn-65	7.0E+04	
9	Rb-86	4.0E+03	出典元で数値が与えられていない核種であるため、同族の Cs の値を使用する
10	Sr-89	8.0E+00	
11	Sr-90	8.0E+00	
12	Y-90	—	親核種 Sr-90 にて評価する
13	Y-91	9.0E+05	
14	Nb-95	8.0E+05	
15	Tc-99	1.0E+02	
16	Ru-103	4.0E+04	
17	Ru-106	4.0E+04	
18	Rh-103m	—	親核種 Ru-103 にて評価する
19	Rh-106	—	親核種 Ru-106 にて評価する
20	Ag-110m	1.0E+04	
21	Cd-113m	3.0E+04	
22	Cd-115m	3.0E+04	
23	Sn-119m	4.0E+06	
24	Sn-123	4.0E+06	
25	Sn-126	4.0E+06	
26	Sb-124	2.0E+03	
27	Sb-125	2.0E+03	
28	Te-123m	1.0E+03	
29	Te-125m	1.0E+03	
30	Te-127	1.0E+03	
31	Te-127m	1.0E+03	
32	Te-129	—	親核種 Te-129m にて評価する
33	Te-129m	1.0E+03	
34	I-129	7.0E+01	
35	Cs-134	4.0E+03	
36	Cs-135	4.0E+03	
37	Cs-136	4.0E+03	

	対象核種	濃度分配係数 ((Bq/kg) / (Bq/L))	備考
38	Cs-137	4.0E+03	
39	Ba-137m	—	親核種 Cs-137 にて評価する
40	Ba-140	2.0E+03	
41	Ce-141	3.0E+06	
42	Ce-144	3.0E+06	
43	Pr-144	—	親核種 Ce-144 にて評価する
44	Pr-144m	—	親核種 Ce-144 にて評価する
45	Pm-146	2.0E+06	
46	Pm-147	2.0E+06	
47	Pm-148	2.0E+06	
48	Pm-148m	2.0E+06	
49	Sm-151	3.0E+06	
50	Eu-152	2.0E+06	
51	Eu-154	2.0E+06	
52	Eu-155	2.0E+06	
53	Gd-153	2.0E+06	
54	Tb-160	2.0E+06	
55	Pu-238	1.0E+05	
56	Pu-239	1.0E+05	
57	Pu-240	1.0E+05	
58	Pu-241	1.0E+05	
59	Am-241	2.0E+06	
60	Am-242m	2.0E+06	
61	Am-243	2.0E+06	
62	Cm-242	2.0E+06	
63	Cm-243	2.0E+06	
64	Cm-244	2.0E+06	

7-3. 評価結果

7-3-1. 評価に使用する海水中濃度

人の防護に関する評価と同様、トリチウムの移流・拡散の計算結果および各核種の年間放出量との比例計算により、核種ごとの被ばく評価に使用する海水濃度を算出した。被ばく評価で海底堆積物の影響を考慮することから、ここでは最下層の濃度を使用する。

表 7-3-1 に、トリチウムを年間 22 兆 Bq (2.2E+13Bq) 放出した場合の、発電所周辺 10km×10km 圏内の最下層における海水中トリチウム濃度 (年間平均濃度) を示す。評価用濃度は、人の被ばく評価と同じく 2019 年の気象、海象による濃度とした。

本結果と、表 6-1-1～3 のソースタームから求めた核種ごとの被ばく評価に使用する海水中濃度を表 7-3-2～4 に示す。

表 7-3-1 トリチウムを年間 2.2E+13Bq 放出した場合の海水中トリチウム濃度

評価地点	深さ	計算結果 (Bq/L)			評価用濃度 (Bq/L)
		2014 年 気象海象	2019 年 気象海象	差異 (%)	
発電所周辺 10km×10km 圏内 の平均濃度	最下層	5.0E-02	6.0E-02	19	6.0E-02

表 7-3-2 評価に使用する海水中濃度 (K4 タンク群の核種組成によるソースターム)

対象 核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水中濃度 (10km×10km 圏内)
		最下層平均濃度 (Bq/L)
H-3	2.2E+13	6.0E-02
C-14	1.7E+09	4.7E-06
Mn-54	7.8E+05	2.1E-09
Fe-59	2.0E+06	5.4E-09
Co-58	9.3E+05	2.5E-09
Co-60	5.1E+07	1.4E-07
Ni-63	2.5E+08	6.9E-07
Zn-65	1.7E+06	4.7E-09
Rb-86	2.2E+07	6.0E-08

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水中濃度 (10km×10km 圏内)
		最下層平均濃度 (Bq/L)
Sr-89	1.2E+07	3.2E-08
Sr-90	2.5E+07	6.9E-08
Y-90	2.5E+07	6.9E-08
Y-91	2.5E+08	6.9E-07
Nb-95	1.2E+06	3.2E-09
Tc-99	8.1E+07	2.2E-07
Ru-103	1.2E+06	3.2E-09
Ru-106	1.9E+08	5.1E-07
Rh-103m	1.2E+06	3.2E-09
Rh-106	1.9E+08	5.1E-07
Ag-110m	6.5E+05	1.8E-09
Cd-113m	2.1E+06	5.7E-09
Cd-115m	7.4E+07	2.0E-07
Sn-119m	2.0E+07	5.4E-08
Sn-123	1.4E+08	3.8E-07
Sn-126	3.1E+06	8.5E-09
Sb-124	1.1E+06	3.0E-09
Sb-125	3.8E+07	1.0E-07
Te-123m	1.1E+06	2.9E-09
Te-125m	3.8E+07	1.0E-07
Te-127	3.7E+07	1.0E-07
Te-127m	3.7E+07	1.0E-07
Te-129	9.4E+06	2.6E-08
Te-129m	3.7E+07	1.0E-07
I-129	2.4E+08	6.6E-07
Cs-134	5.2E+06	1.4E-08
Cs-135	2.9E+02	7.9E-13
Cs-136	3.5E+06	9.5E-09
Cs-137	4.9E+07	1.3E-07
Ba-137m	4.9E+07	1.3E-07
Ba-140	1.1E+07	3.0E-08

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水中濃度 (10km×10km 圏内)
		最下層平均濃度 (Bq/L)
Ce-141	2.9E+06	7.9E-09
Ce-144	7.3E+06	2.0E-08
Pr-144	7.3E+06	2.0E-08
Pr-144m	7.3E+06	2.0E-08
Pm-146	1.1E+07	3.1E-08
Pm-147	2.2E+07	6.0E-08
Pm-148	5.8E+07	1.6E-07
Pm-148m	9.7E+05	2.7E-09
Sm-151	1.0E+05	2.8E-10
Eu-152	3.2E+06	8.8E-09
Eu-154	1.4E+06	3.8E-09
Eu-155	3.8E+06	1.0E-08
Gd-153	3.7E+06	1.0E-08
Tb-160	3.2E+06	8.8E-09
Pu-238	7.3E+04	2.0E-10
Pu-239	7.3E+04	2.0E-10
Pu-240	7.3E+04	2.0E-10
Pu-241	3.2E+06	8.8E-09
Am-241	7.3E+04	2.0E-10
Am-242m	4.5E+03	1.2E-11
Am-243	7.3E+04	2.0E-10
Cm-242	7.3E+04	2.0E-10
Cm-243	7.3E+04	2.0E-10
Cm-244	7.3E+04	2.0E-10
対象とする被ばく評価		環境防護

表 7-3-3 評価に使用する海水中濃度 (J1-C タンク群の核種組成によるソースターム)

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水中濃度 (10km×10km 圏内)
		最下層平均濃度 (Bq/L)
H-3	2.2E+13	6.0E-02
C-14	4.8E+08	1.3E-06
Mn-54	1.0E+06	2.8E-09
Fe-59	2.3E+06	6.4E-09
Co-58	1.1E+06	3.0E-09
Co-60	8.9E+06	2.4E-08
Ni-63	2.3E+08	6.2E-07
Zn-65	2.5E+06	6.9E-09
Rb-86	1.3E+07	3.7E-08
Sr-89	1.4E+06	4.0E-09
Sr-90	9.7E+05	2.6E-09
Y-90	9.7E+05	2.6E-09
Y-91	4.6E+08	1.2E-06
Nb-95	1.3E+06	3.7E-09
Tc-99	3.2E+07	8.8E-08
Ru-103	1.4E+06	3.9E-09
Ru-106	3.8E+07	1.0E-07
Rh-103m	1.4E+06	3.9E-09
Rh-106	3.8E+07	1.0E-07
Ag-110m	1.2E+06	3.1E-09
Cd-113m	2.3E+06	6.2E-09
Cd-115m	7.2E+07	2.0E-07
Sn-119m	1.1E+09	3.1E-06
Sn-123	1.8E+08	4.8E-07
Sn-126	7.8E+06	2.1E-08
Sb-124	2.6E+06	7.1E-09
Sb-125	6.2E+06	1.7E-08
Te-123m	2.5E+06	6.7E-09
Te-125m	6.2E+06	1.7E-08
Te-127	1.3E+08	3.4E-07

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水中濃度 (10km×10km 圏内)
		最下層平均濃度 (Bq/L)
Te-127m	1.3E+08	3.6E-07
Te-129	1.7E+07	4.5E-08
Te-129m	3.8E+07	1.0E-07
I-129	3.2E+07	8.8E-08
Cs-134	2.0E+06	5.6E-09
Cs-135	3.2E+01	8.8E-14
Cs-136	1.3E+06	3.4E-09
Cs-137	5.1E+06	1.4E-08
Ba-137m	5.1E+06	1.4E-08
Ba-140	5.4E+06	1.5E-08
Ce-141	7.0E+06	1.9E-08
Ce-144	1.5E+07	4.2E-08
Pr-144	1.5E+07	4.2E-08
Pr-144m	1.5E+07	4.2E-08
Pm-146	1.8E+06	4.9E-09
Pm-147	2.1E+07	5.9E-08
Pm-148	6.2E+06	1.7E-08
Pm-148m	1.3E+06	3.5E-09
Sm-151	3.0E+05	8.0E-10
Eu-152	7.5E+06	2.0E-08
Eu-154	3.0E+06	8.0E-09
Eu-155	9.1E+06	2.5E-08
Gd-153	7.0E+06	1.9E-08
Tb-160	3.8E+06	1.0E-08
Pu-238	8.9E+05	2.4E-09
Pu-239	8.9E+05	2.4E-09
Pu-240	8.9E+05	2.4E-09
Pu-241	3.2E+07	8.8E-08
Am-241	8.9E+05	2.4E-09
Am-242m	1.6E+04	4.3E-11
Am-243	8.9E+05	2.4E-09

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水中濃度 (10km×10km 圏内)
		最下層平均濃度 (Bq/L)
Cm-242	8.9E+05	2.4E-09
Cm-243	8.9E+05	2.4E-09
Cm-244	8.9E+05	2.4E-09
対象とする被ばく評価		環境防護

表 7-3-4 評価に使用する海水中濃度 (J1-G タンク群の核種組成によるソースターム)

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水中濃度 (10km×10km 圏内)
		最下層平均濃度 (Bq/L)
H-3	2.2E+13	6.0E-02
C-14	1.3E+09	3.6E-06
Mn-54	3.1E+06	8.4E-09
Fe-59	5.9E+06	1.6E-08
Co-58	3.0E+06	8.2E-09
Co-60	1.9E+07	5.1E-08
Ni-63	7.2E+08	2.0E-06
Zn-65	6.5E+06	1.8E-08
Rb-86	3.8E+07	1.0E-07
Sr-89	3.7E+06	1.0E-08
Sr-90	2.6E+06	7.1E-09
Y-90	2.6E+06	7.1E-09
Y-91	9.8E+08	2.7E-06
Nb-95	3.8E+06	1.0E-08
Tc-99	1.1E+08	2.9E-07
Ru-103	4.2E+06	1.1E-08
Ru-106	3.9E+07	1.1E-07
Rh-103m	4.2E+06	1.1E-08
Rh-106	3.9E+07	1.1E-07
Ag-110m	3.3E+06	8.9E-09
Cd-113m	7.0E+06	1.9E-08

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水中濃度 (10km×10km 圏内)
		最下層平均濃度 (Bq/L)
Cd-115m	1.9E+08	5.1E-07
Sn-119m	3.3E+09	8.9E-06
Sn-123	5.1E+08	1.4E-06
Sn-126	1.2E+07	3.3E-08
Sb-124	6.8E+06	1.9E-08
Sb-125	1.1E+07	3.1E-08
Te-123m	5.5E+06	1.5E-08
Te-125m	1.1E+07	3.1E-08
Te-127	3.5E+08	9.6E-07
Te-127m	3.7E+08	1.0E-06
Te-129	4.8E+07	1.3E-07
Te-129m	9.8E+07	2.7E-07
I-129	2.7E+07	7.3E-08
Cs-134	5.5E+06	1.5E-08
Cs-135	1.7E+02	4.7E-13
Cs-136	2.9E+06	8.0E-09
Cs-137	2.7E+07	7.3E-08
Ba-137m	2.7E+07	7.3E-08
Ba-140	1.4E+07	3.8E-08
Ce-141	9.8E+06	2.7E-08
Ce-144	4.5E+07	1.2E-07
Pr-144	4.5E+07	1.2E-07
Pr-144m	4.5E+07	1.2E-07
Pm-146	5.1E+06	1.4E-08
Pm-147	5.9E+07	1.6E-07
Pm-148	3.7E+07	1.0E-07
Pm-148m	3.3E+06	9.1E-09
Sm-151	8.1E+05	2.2E-09
Eu-152	1.5E+07	4.2E-08
Eu-154	8.1E+06	2.2E-08
Eu-155	1.5E+07	4.0E-08

対象核種	年間放出量 (Bq)	評価に使用する海水中濃度 (10km×10km 圏内)
		最下層平均濃度 (Bq/L)
Gd-153	1.5E+07	4.2E-08
Tb-160	1.1E+07	3.1E-08
Pu-238	2.3E+06	6.2E-09
Pu-239	2.3E+06	6.2E-09
Pu-240	2.3E+06	6.2E-09
Pu-241	8.1E+07	2.2E-07
Am-241	2.3E+06	6.2E-09
Am-242m	4.2E+04	1.1E-10
Am-243	2.3E+06	6.2E-09
Cm-242	2.3E+06	6.2E-09
Cm-243	2.3E+06	6.2E-09
Cm-244	2.3E+06	6.2E-09
対象とする被ばく評価		環境防護

7-3-2. 被ばく評価結果

標準動植物に対する被ばく評価の結果は表 7-3-5 のとおり。いずれの結果も、誘導考慮参考レベルの下限値と比べて 10,000 分の 1 以下の低い線量率であった。

表 7-3-5 環境防護に関する評価結果

評価 ケース		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
被ばく (mGy/日)	扁平魚	2E-05	2E-05	6E-05
	カニ	2E-05	2E-05	6E-05
	褐藻	2E-05	2E-05	6E-05
誘導考慮参考レベル(DCRL) [29] 扁平魚 : 1-10 mGy/日 カニ : 10-100mGy/日 褐藻 : 1-10mGy/日				

8. 評価に係る不確かさに関する考察

本評価は、これまでに得られた知見により作成されたパラメータなどを含む評価モデルに、ALPS 処理水の処分計画に係るさまざまなデータや、被ばく評価を行う際の仮定などを加えて行っている。これらのパラメータを含めた評価モデル、データ、設定した仮定などは不確かさを含んでおり、評価結果にも不確かさが含まれている。

一般的に、不確かさには大きく、①偶然的不確かさ (Aleatory Uncertainty、または可変性 : Variability) と、②認識的不確かさ (Epistemic Uncertainty) 、の二つに大別される。「偶然的不確かさ (可変性)」とは、もともとデータに存在するバラつきなど統計的に分布をもつものによる不確かさであり、今後得られるデータや知識を考慮しても低減することができない。「認識的不確かさ」とは、もともとは唯一無二の状態が存在していると考えられるものの、知識不足から生じる不確かさである。

以下では、それぞれについて各評価プロセスで実施した試算結果等を参考に、不確かさの大きさに関する検討を行った結果を示す。

8-1. ソースタームの選択に含まれる不確かさ

ソースタームの不確かさとして、以下の項目が挙げられる。

8-1-1. 核種組成の不確かさ (認識的不確かさ)

貯留されている処理途上水は、今後 ALPS 等による二次処理を行う予定であり、二次処理終了後に測定を行うまでどのような核種組成になるのかは不明である。告示濃度比総和 1 未満を保証するものの、どのような核種組成になるのかは、処理時点での ALPS 入口での放射性物質の組成・濃度や、ALPS 吸着塔内の吸着材がその処理時点で性能寿命期間中のどの段階にあるのか等、さまざまな要因に依存する。これは、今後発生する汚染水についても同様である。

一方で、3つのソースタームによる被ばく評価値のうち、K4 タンク群によるソースタームと J1-G タンク群によるソースタームの間には、5 倍程度の差がみられている。トリチウム濃度の差は大きくないことから、この差は主に核種組成の違いによるものであるが、評価においては、短半減期核種も含め、不検出核種も検出下限値で含まれているものとして保守的に評価しており、添付 IX「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」に示したとおり、被ばく評価値の 7 割以上は不検出核種による寄与であるから、ソース

タームの不確かさの原因は、主に不検出核種の検出下限値の違いによる部分が多いと考えられる。

一方、3つのタンクの核種組成は、告示濃度比総和が0.3前後であり、最も被ばく評価値が大きいJ1-Gタンク群の核種組成の告示濃度比総和は0.22である。放出管理上の制限値が告示濃度比総和1未満であるので、告示濃度比総和が1に近いALPS処理水を放出する場合、被ばくは4～5倍程度となる可能性がある。

また、ALPS処理水のトリチウム濃度が低い場合、逆に排水量は増えるためトリチウム以外の核種の放出量が増えて被ばくが増える、といったトリチウム濃度による不確かさがあるが、排水量にも最大で500m³/日という制約があり、年間排水量は1.5E+08L（設備利用率80%）と、K4タンク群（年間排水量1.2E+08L）の1.25倍、J1-Gタンク群（年間排水量8.1E+07L）の2倍程度に過ぎない。

8-1-2. 分析の不確かさ（偶然的な不確かさ）

ソースタームの設定に使用した3つのタンク群の核種組成は、分析の不確かさを含んでいる。分析の不確かさによる被ばく評価値への影響を確認するため、J1-Cタンク群の分析結果で求めた拡張不確かさを、被ばく評価値の大きなJ1-Gタンク群の測定結果に適用し、通常時の被ばく評価を行った。J1-Gタンク群の核種組成に拡張不確かさを考慮した核種組成を表8-1、設定したソースタームおよび評価に使用した海水濃度を表8-2、被ばく評価結果を表8-3に示す。

分析の不確かさを考慮したソースタームは、考慮しないソースタームにくらべて1.5倍程度の被ばく評価結果となっていることから、分析の不確かさによる被ばく評価の不確かさは2倍に満たない程度と考えられる。

8-1-3. ソースタームの不確かさのまとめ

ソースタームの不確かさについて、タンク群の核種組成による差がJ1-Gタンク群によるソースタームを中心として±5倍程度あり、さらに分析の不確かさが±1.5倍程度はありとえられる。

表 8-1 J1-G タンク群の核種組成に検出の不確かさを考慮した核種組成

対象核種	告示濃度限度 (Bq/L)	J1-G タンク群の核種組成 (Bq/L)	拡張不確かさを考慮した J1-G タンク群の核種組成 (Bq/L)	告示濃度比
H-3	6.0E+04	2.7E+05	2.7E+05	—
C-14	2.0E+03	1.6E+01	2.0E+01	1.0E-02
Mn-54	1.0E+03	3.8E-02	6.4E-02	6.4E-05
Fe-59	4.0E+02	7.2E-02	1.2E-01	3.0E-04
Co-58	1.0E+03	3.7E-02	6.2E-02	6.2E-05
Co-60	2.0E+02	2.3E-01	2.7E-01	1.4E-03
Ni-63	6.0E+03	8.8E+00	9.2E+00	1.5E-03
Zn-65	2.0E+02	8.0E-02	1.3E-01	6.7E-04
Rb-86	3.0E+02	4.7E-01	7.9E-01	2.6E-03
Sr-89	3.0E+02	4.5E-02	5.3E-02	1.8E-04
Sr-90	3.0E+01	3.2E-02	4.2E-02	1.4E-03
Y-90	3.0E+02	3.2E-02	4.2E-02	1.4E-04
Y-91	3.0E+02	1.2E+01	2.0E+01	6.6E-02
Nb-95	1.0E+03	4.7E-02	7.9E-02	7.9E-05
Tc-99	1.0E+03	1.3E+00	1.3E+00	1.3E-03
Ru-103	1.0E+03	5.1E-02	8.6E-02	8.6E-05
Ru-106	1.0E+02	4.8E-01	6.1E-01	6.1E-03
Rh-103m	2.0E+05	5.1E-02	8.6E-02	4.3E-07
Rh-106	3.0E+05	4.8E-01	6.1E-01	2.0E-06
Ag-110m	3.0E+02	4.0E-02	6.7E-02	2.2E-04
Cd-113m	4.0E+01	8.6E-02	9.0E-02	2.2E-03
Cd-115m	3.0E+02	2.3E+00	4.5E+00	1.5E-02
Sn-119m	2.0E+03	4.0E+01	6.7E+01	3.4E-02
Sn-123	4.0E+02	6.3E+00	1.1E+01	2.6E-02
Sn-126	2.0E+02	1.5E-01	2.5E-01	1.3E-03
Sb-124	3.0E+02	8.4E-02	1.4E-01	4.7E-04
Sb-125	8.0E+02	1.4E-01	2.0E-01	2.5E-04
Te-123m	6.0E+02	6.7E-02	1.1E-01	1.9E-04
Te-125m	9.0E+02	1.4E-01	2.0E-01	2.2E-04
Te-127	5.0E+03	4.3E+00	7.5E+00	1.5E-03

対象核種	告示濃度限度 (Bq/L)	J1-G タンク群の核種組成 (Bq/L)	拡張不確かさを考慮した J1-G タンク群の核種組成 (Bq/L)	告示濃度比
Te-127m	3.0E+02	4.5E+00	7.9E+00	2.6E-02
Te-129	1.0E+04	5.9E-01	1.0E+00	1.0E-04
Te-129m	3.0E+02	1.2E+00	2.1E+00	7.1E-03
I-129	9.0E+00	3.3E-01	3.8E-01	4.2E-02
Cs-134	6.0E+01	6.7E-02	1.1E-01	1.9E-03
Cs-135	6.0E+02	2.1E-06	2.6E-06	4.3E-09
Cs-136	3.0E+02	3.6E-02	6.1E-02	2.0E-04
Cs-137	9.0E+01	3.3E-01	4.0E-01	4.5E-03
Ba-137m	8.0E+05	3.3E-01	4.0E-01	5.0E-07
Ba-140	3.0E+02	1.7E-01	2.9E-01	9.6E-04
Ce-141	1.0E+03	1.2E-01	2.0E-01	2.0E-04
Ce-144	2.0E+02	5.5E-01	9.4E-01	4.7E-03
Pr-144	2.0E+04	5.5E-01	9.4E-01	4.7E-05
Pr-144m	4.0E+04	5.5E-01	9.4E-01	2.3E-05
Pm-146	9.0E+02	6.3E-02	1.1E-01	1.2E-04
Pm-147	3.0E+03	7.2E-01	1.2E+00	4.1E-04
Pm-148	3.0E+02	4.5E-01	7.6E-01	2.5E-03
Pm-148m	5.0E+02	4.1E-02	6.9E-02	1.4E-04
Sm-151	8.0E+03	1.0E-02	1.7E-02	2.1E-06
Eu-152	6.0E+02	1.9E-01	3.2E-01	5.3E-04
Eu-154	4.0E+02	1.0E-01	1.7E-01	4.3E-04
Eu-155	3.0E+03	1.8E-01	3.0E-01	1.0E-04
Gd-153	3.0E+03	1.9E-01	3.2E-01	1.1E-04
Tb-160	5.0E+02	1.4E-01	2.4E-01	4.7E-04
Pu-238	4.0E+00	2.8E-02	3.3E-02	8.4E-03
Pu-239	4.0E+00	2.8E-02	3.3E-02	8.4E-03
Pu-240	4.0E+00	2.8E-02	3.3E-02	8.4E-03
Pu-241	2.0E+02	1.0E+00	1.2E+00	6.0E-03
Am-241	5.0E+00	2.8E-02	3.3E-02	6.7E-03
Am-242m	5.0E+00	5.1E-04	6.1E-04	1.2E-04
Am-243	5.0E+00	2.8E-02	3.3E-02	6.7E-03

対象核種	告示濃度限度 (Bq/L)	J1-G タンク群の核種組成 (Bq/L)	拡張不確かさを考慮した J1-G タンク群の核種組成 (Bq/L)	告示濃度比
Cm-242	6.0E+01	2.8E-02	3.3E-02	5.6E-04
Cm-243	6.0E+00	2.8E-02	3.3E-02	5.6E-03
Cm-244	7.0E+00	2.8E-02	3.3E-02	4.8E-03
告示濃度比総和				3.2E-01

表 8-2 評価に使用する海水濃度 (J1-G タンク群の核種組成に検出の不確かさを考慮した核種組成によるソースターム)

対象核種	ソースターム (年間放出量) (Bq)	評価に使用する海水濃度 (Bq/L)		
		10km×10km 圏内全層平均	10km×10km 圏内最上層平均	砂浜評価地点全層平均
H-3	2.2E+13	5.6E-02	1.2E-01	9.0E-01
C-14	6.1E+08	1.5E-06	3.3E-06	2.5E-05
Mn-54	1.7E+06	4.4E-09	9.4E-09	7.0E-08
Fe-59	3.9E+06	1.0E-08	2.1E-08	1.6E-07
Co-58	1.9E+06	4.7E-09	1.0E-08	7.6E-08
Co-60	1.0E+07	2.7E-08	5.7E-08	4.3E-07
Ni-63	2.4E+08	6.1E-07	1.3E-06	9.7E-06
Zn-65	4.2E+06	1.1E-08	2.3E-08	1.7E-07
Rb-86	2.3E+07	5.7E-08	1.2E-07	9.2E-07
Sr-89	1.7E+06	4.4E-09	9.3E-09	7.0E-08
Sr-90	1.3E+06	3.2E-09	6.9E-09	5.2E-08
Y-90	1.3E+06	3.2E-09	6.9E-09	5.2E-08
Y-91	7.5E+08	1.9E-06	4.1E-06	3.1E-05
Nb-95	2.3E+06	5.7E-09	1.2E-08	9.2E-08
Tc-99	3.3E+07	8.3E-08	1.8E-07	1.3E-06
Ru-103	2.4E+06	6.1E-09	1.3E-08	9.8E-08
Ru-106	4.7E+07	1.2E-07	2.6E-07	1.9E-06
Rh-103m	2.4E+06	6.1E-09	1.3E-08	9.8E-08
Rh-106	4.7E+07	1.2E-07	2.6E-07	1.9E-06
Ag-110m	1.9E+06	4.9E-09	1.1E-08	7.9E-08

対象核種	ソースターム (年間放出量) (Bq)	評価に使用する海水濃度 (Bq/L)		
		10km×10km 圏内全層平均	10km×10km 圏内最上層平均	砂浜評価地点全層平均
Cd-113m	2.4E+06	6.1E-09	1.3E-08	9.7E-08
Cd-115m	1.4E+08	3.6E-07	7.8E-07	5.8E-06
Sn-119m	1.9E+09	4.8E-06	1.0E-05	7.8E-05
Sn-123	3.0E+08	7.6E-07	1.6E-06	1.2E-05
Sn-126	1.3E+07	3.3E-08	7.2E-08	5.4E-07
Sb-124	4.4E+06	1.1E-08	2.4E-08	1.8E-07
Sb-125	8.9E+06	2.3E-08	4.8E-08	3.6E-07
Te-123m	4.2E+06	1.1E-08	2.3E-08	1.7E-07
Te-125m	8.9E+06	2.3E-08	4.8E-08	3.6E-07
Te-127	2.2E+08	5.6E-07	1.2E-06	9.0E-06
Te-127m	2.3E+08	5.8E-07	1.3E-06	9.4E-06
Te-129	6.7E+07	1.7E-07	3.7E-07	2.7E-06
Te-129m	6.7E+07	1.7E-07	3.7E-07	2.7E-06
I-129	3.7E+07	9.4E-08	2.0E-07	1.5E-06
Cs-134	3.4E+06	8.7E-09	1.9E-08	1.4E-07
Cs-135	3.9E+01	1.0E-13	2.1E-13	1.6E-12
Cs-136	2.1E+06	5.4E-09	1.2E-08	8.7E-08
Cs-137	6.2E+06	1.6E-08	3.4E-08	2.5E-07
Ba-137m	6.2E+06	1.6E-08	3.4E-08	2.5E-07
Ba-140	9.1E+06	2.3E-08	5.0E-08	3.7E-07
Ce-141	1.2E+07	3.0E-08	6.4E-08	4.8E-07
Ce-144	2.6E+07	6.6E-08	1.4E-07	1.1E-06
Pr-144	2.6E+07	6.6E-08	1.4E-07	1.1E-06
Pr-144m	2.6E+07	6.6E-08	1.4E-07	1.1E-06
Pm-146	3.0E+06	7.6E-09	1.6E-08	1.2E-07
Pm-147	3.6E+07	9.3E-08	2.0E-07	1.5E-06
Pm-148	1.0E+07	2.7E-08	5.7E-08	4.3E-07
Pm-148m	2.2E+06	5.5E-09	1.2E-08	8.9E-08
Sm-151	5.0E+05	1.3E-09	2.7E-09	2.1E-08
Eu-152	1.3E+07	3.2E-08	6.9E-08	5.2E-07
Eu-154	5.0E+06	1.3E-08	2.7E-08	2.1E-07

対象核種	ソースターム（年間放出量）（Bq）	評価に使用する海水濃度（Bq/L）		
		10km×10km 圏内全層平均	10km×10km 圏内最上層平均	砂浜評価地点全層平均
Eu-155	1.5E+07	3.9E-08	8.3E-08	6.3E-07
Gd-153	1.2E+07	3.0E-08	6.4E-08	4.8E-07
Tb-160	6.4E+06	1.6E-08	3.5E-08	2.6E-07
Pu-238	1.1E+06	2.7E-09	5.8E-09	4.3E-08
Pu-239	1.1E+06	2.7E-09	5.8E-09	4.3E-08
Pu-240	1.1E+06	2.7E-09	5.8E-09	4.3E-08
Pu-241	3.8E+07	9.8E-08	2.1E-07	1.6E-06
Am-241	1.1E+06	2.7E-09	5.8E-09	4.3E-08
Am-242m	1.9E+04	4.8E-11	1.0E-10	7.7E-10
Am-243	1.1E+06	2.7E-09	5.8E-09	4.3E-08
Cm-242	1.1E+06	2.7E-09	5.8E-09	4.3E-08
Cm-243	1.1E+06	2.7E-09	5.8E-09	4.3E-08
Cm-244	1.1E+06	2.7E-09	5.8E-09	4.3E-08
対象とする被ばく評価		漁網から海産物摂取	海水面から船体から	遊泳中 海浜砂から 飲水 しぶき吸入

表 8-3 J1-G タンク群の核種組成に検出の不確かさを考慮した核種組成による
被ばく評価結果 (評価エリア 10km×10km)

評価 ケース	ソース ターム	(1)実測値によるソースターム						(2)分析の不確かさを考慮したソースターム (J1-G)	
		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	平均的	多い
外部 被ばく (mSv/ 年)	海水面	6.5E-09		1.7E-08		4.7E-08		8.0E-08	
	船体	4.8E-09		1.2E-08		3.3E-08		5.6E-08	
	遊泳中	4.5E-09		1.2E-08		3.2E-08		5.6E-08	
	海浜砂	7.8E-06		2.1E-05		5.6E-05		9.7E-05	
	漁網	1.6E-06		4.3E-06		1.2E-05		2.0E-05	
内部 被ばく (mSv/ 年)	飲水	3.3E-07		3.1E-07		3.2E-07		3.3E-07	
	しぶき 吸入	9.3E-08		2.0E-07		4.0E-07		4.8E-07	
	海産物 摂取	1.5E-05	6.1E-05	2.8E-05	1.1E-04	7.9E-05	3.0E-04	1.3E-04	5.0E-04
合計 (mSv/年)		3E-05	7E-05	5E-05	1E-04	1E-04	4E-04	2E-04	6E-04

表 8-4 J1-G タンク群の核種組成に検出の不確かさを考慮した核種組成による
年齢別の内部被ばく評価結果（評価エリア 10km×10km）

評価 ケース	ソース ターム	(1) 実測値によるソースターム						(2)分析の不確かさを考慮したソースターム (J1-G)	
		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	平均的	多い
飲水による 内部被ばく (mSv/ 年)	成人	3.3E-07		3.1E-07		3.2E-07		3.2E-07	
	幼児	5.7E-07		5.4E-07		5.5E-07		5.7E-07	
	乳児	-		-		-		-	
水しぶきの吸 入による 内部被ばく (mSv/ 年)	成人	9.3E-08		2.0E-07		4.0E-07		4.7E-07	
	幼児	6.2E-08		1.1E-07		2.2E-07		2.5E-07	
	乳児	4.0E-08		6.5E-08		1.2E-07		1.3E-07	
海産物 摂取による 内部被ばく (mSv/ 年)	成人	1.5E-05	6.1E-05	2.8E-05	1.1E-04	7.9E-05	3.0E-04	1.3E-04	5.0E-04
	幼児	2.4E-05	9.4E-05	5.1E-05	2.0E-04	1.5E-04	5.6E-04	2.4E-04	9.4E-04
	乳児	2.9E-05	1.1E-04	6.7E-05	2.5E-04	1.9E-04	7.1E-04	3.2E-04	1.2E-03

8-2. 環境中での拡散、移行のモデリングに含まれる不確かさ

8-2-1. 気象、海象等の不確かさ（偶然的な不確かさ）

拡散シミュレーションにおいては、使用する気象、海象データの年変動など、ばらつきによる不確かさが含まれるものと考えられる。

今回の評価では、2014～2020年の気象、海象データを用いて評価を行っているが、評価に用いた10km×10kmの年間平均濃度では、最大で20%程度の差が見られた。同じモデルで、セシウムのモニタリング結果を再現した文献では、年ごとの拡散の形状に大きな差は見られておらず、不確かさの大きさは2倍に満たない程度と推定する。

8-2-2. シミュレーションモデル自体の不確かさ（認識的な不確かさ）

拡散シミュレーションモデルは、自然現象のすべてを再現するものではなく、またモデルの構築のベースとなった科学的な知見も完全なものではない。ただし、今回使用したモデルは、同じ海域でセシウム濃度の再現計算により検証されたモデルであり、シミュレーションの結果と実測値は良く一致している。不確かさの大きさをより正確に確認するためには異なるモデルによる検証等の課題もあるが、モデル自体の不確かさはそれほど大きくはないものと推定する。

8-2-3. 移行経路の選定における不確かさ（認識的な不確かさ）

外部被ばく評価においては、移行経路として船体への移行、砂浜の砂への移行、漁網への移行を考慮し、これらに移行した放射性物質からの外部被ばくを評価している。船体、砂浜、漁網への移行係数は、過去の指針など国内事例から引用したものであるが、今回必要な核種に関するデータがすべて得られたわけではなく、限られた核種についてのデータに基づき評価を行っている。

これらの移行係数については知見が少ないが、砂浜への移行について、TECDOC-1759の手法（米国環境保護庁発行のFGR15の外部被ばく線量換算係数を使用）により評価が可能であったことから、砂浜からの被ばくの計算を行ったところ、本報告書の結果が上回っており、その差は20～200倍以上であった。ただし、被ばく全体への寄与として、外部被ばくの寄与は内部被ばくと比較して小さく、被ばくの合計値はほとんど変わらない。米国環境保護庁発行のFGR15の外部被ばく線量換算係数を用いた評価結果の詳細は、添付XI「外部被ばく線量換算係数の保守性について」に示した。

8-2-4. 海産物の濃縮係数、海底土の分配係数における不確かさ（認識的不確かさ）

TRS-422 に示されている海産物摂取による内部被ばくに使用している魚介類の濃縮係数は、海水の濃度と魚介類の濃度の調査結果から、海水中濃度と海洋生物の濃度は平衡状態にあると仮定して求められている。

ただし、生物や海底土への移行プロセスは時間がかかるのに対して、海水の移動は早く、調査時点で平衡状態となっていたかは定かではない。また、魚介類の種類や海底土の土質、調査場所などによるばらつきも大きく、TRS-422 では、一般にほとんどの生物と元素の組み合わせについて、推奨値付近のばらつきの範囲を正確に評価するには信頼できるデータベースが不足しているとしている。一方で、信頼できるデータベースが存在する場合は、ほとんどすべてのケースで、最小と最大の CF の範囲は推奨値から一桁（またはそれ以下）であるとしており、このような事情を踏まえ、TRS-422 では、濃縮係数の最大値と最小値の範囲を上下一桁とすることができるとしている。これは、海底土の分配係数でも同様であり、値の範囲が必要な場合は最大値と最小値に推奨値の上下 10 倍の範囲を仮定できている。

8-3. 被ばく経路の設定における不確かさ

8-3-1. 被ばく経路の選定における不確かさ（認識的不確かさ）

被ばく経路の設定においては、経路の選定が不十分な可能性がある。TECDOC-1759 には、海水面からの被ばく、船体からの被ばくなど、外部被ばくとして本評価で設定している経路のほとんどが評価対象外となっている一方、海岸堆積物の摂取、海水の飲水、海水しぶき吸入など、本報告書では設定していなかった経路が取り上げられている。TECDOC-1759 の手法により選定していない経路について確認計算を行ったところ、海水の飲水、海水しぶき吸入など、被ばく評価結果が報告書で選定した経路を上回るような経路があったことから、経路として追加した。ただし、被ばく評価は海産物摂取による内部被ばくの影響が大きいため、合計値はほとんど変わらなかった。確認計算の結果は、添付 VI「評価対象以外の移行経路、被ばく経路について」にまとめた。ただし、TECDOC-1759 との差異は、拡散、移行のモデリングを含めての差異である点には注意すべきである。

8-4. 代表的個人の選定における不確かさ

8-4-1. 代表的個人の実際の生活における不確かさ（偶然的な不確かさ）

本評価では、国内の原子力発電所からの被ばくを試算した事例で使用した決定グループの生活習慣データを使用し、海産物の摂取量は国民健康・影響調査の最新データを使用している。国民健康・影響調査のデータには若干の年変動がある。ただし、これらの変動の幅は10～20%程度の違いであり、このような不確かさを考慮し、報告書では摂食する魚介類は、市場希釈や捕獲後の放射性核種の減衰等を考慮せず、すべて発電所周辺で漁獲されたものをただちに消費するとして評価していることから、過小評価となるような不確かさはないものと考えられる。

8-4-2. 代表的個人の選定における不確かさ（認識的な不確かさ）

福島第一原子力発電所周辺は、現在においても帰還困難区域が設定されているなど、復興の途上にある。帰還困難区域での居住は禁止されており、それ以外の区域でも住民の帰還は非常に限定的である。このような状況下では、将来の状況の予測も含め、代表的個人の選定に利用可能な詳細な生活習慣の把握は非常に困難である。

そのため、本評価では、国内の原子力発電所からの被ばくを試算した事例で使用した決定グループの生活習慣データを使用したが、復興を果たした後の周辺住民の実際の生活習慣との違いによる不確かさを含んでいる。

これに対して、本評価では同じ東北地方である青森県に立地する再処理施設では、社会環境調査に基づいた設定をしており、本評価と比較し、漁網からの被ばく時間は多くなっているが、その差は2倍に満たない。さらに、外部被ばくによる影響は海産物摂取による内部被ばくと比較して小さく、被ばく評価には影響を与えない。

また、内部被ばく結果に影響する海産物摂取量は、年齢別に集計された全国の統計データを使用しており、東北地区のデータとは10%程度違いが見られる。また、再処理施設と比べた場合、魚類と無脊椎動物（再処理施設では貝類、頭足類、甲殻類の合計）は再処理施設が20～30%多く、海藻類は本報告書が30%多くなっているが、食品摂取量の不確かさが2倍になることは考えにくく、報告書では摂食する魚介類は、市場希釈や捕獲後の放射性核種の減衰等を考慮せずすべて発電所周辺で漁獲されたものをただちに消費するとして評価していることから、過小評価となるような不確かさはないものと考えられる。

8-4-3. 評価対象とする海域の範囲による不確かさ（認識的不確かさ）

ALPS 処理水を放出した場合の海水中濃度は、放水口から遠ざかるほど低い濃度となることから、評価対象とする範囲の大きさによって評価に使用する海水中濃度が変わる不確かさが含まれている。

評価対象範囲の大きさによる影響を確認するため、10km×10km の範囲に加えて、5km×5km の範囲および 20km×10km の範囲で年間平均濃度を算出し、通常時の人への被ばく評価を行った。20km×10km の被ばく評価結果は、10km×10km と比べて 2 割程度低かったが、違いは小さかった。5km×5km は、10km×10km の 3 倍程度高かった。実際に発電所周辺 5km×5km でのみ漁業を行うことは考えられないこと、および本報告書では評価海域で漁獲された海産物のみを摂取するとして被ばくを評価しているが、実際に発電所周辺で漁獲された魚介類のみを摂食することは考えられないことから、海域の範囲について不確かさを考慮する必要はないものと考えられる。5km×5km の範囲および 20km×10km の範囲の被ばく評価の結果については、添付 XII 「被ばく評価に使用する海水濃度の評価範囲による影響について」にまとめた。

8-5. 不確かさに関するまとめ

以上をまとめると、表 8-1 のとおりとなる。

不確かさとして大きいのは、ソースタームにおける核種組成と、魚介類の濃縮係数などの移行係数であると思われるが、被ばく評価結果は線量拘束値に比べて十分小さく、評価の保守性が損なわれることはないと考えられる。

表 8-1 本評価における不確かさのまとめ

項目	不確かさの内容	不確かさの評価
ソースタームの選択	ALPS 処理水の核種組成は、二次処理を行い、測定を行うまで不明であり、認識的不確かさがある。	実測値によるソースタームのうち検出下限値の低い K4 タンク群は、最も高い J1-G タンク群の 1/5 程度の被ばく評価結果となっている。一方、J1-G タンク群は、告示濃度比総和 0.22 であり、同じ核種比率のまま告示濃度比総和が 1 となれば、5 倍程度の被ばくとなる。
	実測値は、分析の不確かさによる偶然的な不確かさを含む。	分析の不確かさによる影響は、2 倍に満たない程度と考えられる。
環境中での拡散、移行のモデリング	気象、海象データには年変動があり、偶然的な不確かさを含む。	10km×10km の平均濃度を 7 年分計算したところ、2 割前後の差が見られた。
	拡散シミュレーションモデルは、モデル自体に認識的不確かさがある。	実測値との比較では、濃度の高い部分は良く一致しており、10km×10km の平均濃度を計算する上では、不確かさは 2 倍に満たない程度と推定。
移行経路	外部被ばくの移行係数は、元素の違いを考慮しておらず、外部被ばくの線量換算係数は、すべての核種を網羅していないことによる認識的不確かさがある。	TECDOC-1759 の手法（FGR15 の外部被ばく線量換算係数を使用）により、砂浜からの被ばくの計算を行ったところ、放射線影響評価報告書の結果が上回っており、その差は 20 倍～200 倍以上であった。
	海産物摂取による内部被ばく評価に使用している魚介類の濃縮係数は、データが十分ではなく認識的不確かさを含んでいる。	ただし、外部被ばくは、内部被ばくと比べて被ばくへの影響は小さく、被ばくの合計値はほとんど変わらない。 濃縮係数について、TRS-422 では、生物と元素の組み合わせに対して信頼できるデータベースが存在する場合はほとんどすべてで最大値と最小値の範囲は推奨値から一桁以内であり、濃縮係数の最大値と最小値の範囲は、推奨値から上下一桁とすることができるとしている。
被ばく経路	選定した移行経路、被ばく経路が、すべての経路を網羅していないことによる認識的不確かさがある。	TECDOC-1759 の手法により、選定しなかった被ばく経路の計算を行い、選定した経路よりも被ばく評価値が大きかった経路を追加した。ただし、海産物摂取による内部被ばくの影響が大きいため合計値はほとんど変わらない。
代表的個人の選定	現在、発電所周辺地域は復興途上であり、国内の先行事例から生活習慣データを使用したため、実際の生活習慣との違いによる認識的不確かさを含んでいる。 また、食品摂取量は全国のデータから設定しており、同様に認識的不確かさを含んでいる。	外部被ばくによる影響は、六ヶ所再処理施設の被ばく時間と比較して短めであるが、海産物摂取による内部被ばくに比べて小さく、被ばく評価結果には影響しない。 内部被ばく結果に影響する海産物摂取量は、年齢別に集計された全国の統計データを使用しており、東北地区のデータとは 10% 程度違いが見られるが、報告書では摂食する魚介類はすべて発電所周辺で漁獲されたものとして評価していることから、過小評価となるような不確かさはないものとする。
	評価対象海域として適切なエリアがどの範囲か、認識的不確かさを含んでいる。	10km×10km よりも狭い 5km×5km、広い 20km×10km の範囲で評価をしたところ、5km×5km の範囲では 3 倍程度の被ばくとなり、20km×20km の範囲では大きな違いは無かった。実際に 5km×5km の範囲内だけで漁業を行うことは考えられないこと、および報告書では摂食する魚介類はすべて発電所周辺で漁獲されたものとして評価していることから、評価対象海域の設定による不確かさを考慮する必要はないものとする。

9. ALPS 処理水の海洋放出に伴い実施されるモニタリング

本項では、当社の福島第一原子力発電所における分析能力を説明した上で、福島第一原子力発電所の ALPS 処理水の処分に関係して敷地内外で行われるモニタリング計画（本報告書の発行時点におけるもの。随時見直し予定）を記述する。

これらは、いずれも福島第一原子力発電所事故後より継続的に実施されているモニタリングプログラムを強化・拡充するものである。

敷地内でのモニタリング活動を通じ、これから環境に放出される ALPS 処理水が安全であることを確実にし、また敷地外でのモニタリング活動を通じ、ALPS 処理水の海洋放出が環境に与える影響を正確に把握するものである。

9-1. 福島第一原子力発電所における分析能力

福島第一原子力発電所構内には、震災以前より運用されている環境試料分析を対象とした環境管理棟、高放射能濃度試料を分析する 5・6 号分析室（ホットラボ）が現在でも運用されており、これに加えて 2013 年には構内の汚染持ち込みの防止、および環境線量の影響排除の措置を講じた低放射能濃度試料用の化学分析棟の運用を開始している。なお、環境管理棟は施設の汚染状況、設備老朽化に伴い分析・測定機能は廃止し、前処理機能のみになっている。

震災後、当初は汚染水の問題に対応するため、特に高放射能濃度試料に対応することに傾注してきたが、2013 年 7 月に化学分析棟が竣工し、これにより環境試料の分析を行う環境が整ったことから、海水等あらかじめ低放射能濃度であることが明確な試料の分析のための要員育成を開始した。その後、汚染水発生量低減策として、地下水バイパス水（以下、「地下水バイパス」）、サブドレン他浄化設備の処理済水（以下、「サブドレン」）の排水が開始されていくにつれて、5・6 号分析室の分析員育成と並行して化学分析棟の分析員の育成も拡充してきた。ALPS 処理水の海洋放出に向けては、さらに設備面と力量面からの分析体制の強化・拡充を進めることとしている。

9-1-1. 設備面における分析能力

今般の ALPS 処理水の海洋放出に係る分析は、いずれも低放射能濃度試料の分析に分類されるため、化学分析棟の設備を使用して分析評価を行う予定としている。化学分析棟のレイアウト整備や分析装置の追加等は、必要に応じて柔軟に実施する。福島第一原子力発電所構

内の分析施設の概要と機能を表 9-1 に、そのうち化学分析棟に設置される分析装置の概要を表 9-2 に示す。

表 9-1 分析施設の概要と機能

施設名	機能	設備の概要	備考
環境管理棟	前処理操作（魚の前処理）	分析室+計測室：480m ² 実験台：4	<ul style="list-style-type: none"> ● 震災前には環境試料の分析を実施していたが、震災を受けて化学分析棟と5・6号分析室へ機能移転 ● 機能を前処理に限定し運用
5・6号分析室	高放射能濃度試料の分析	分析室+計測室：850m ² 実験台：23 ドラフト：26	<ul style="list-style-type: none"> ● 2016年に震災前より運用していた施設を拡張
化学分析棟	低放射能濃度試料の分析	分析室+計測室：1,000m ² 実験台：15 ドラフト：35	<ul style="list-style-type: none"> ● 2013年から運用開始 ● ALPS処理水の分析はこちらで実施予定
化学分析棟（拡張分、計画）	前処理操作および低放射能濃度試料の分析	分析室+計測室：600m ² 程度 【設備案】 実験台：8 ドラフト：21 ロータリーエバポレータ：5 電解濃縮装置：10 凍結乾燥器：6 H-3→He変換装置：2	<ul style="list-style-type: none"> ● 2023年度内の竣工目標 ● 分析装置等の台数は今後増減の可能性あり

表 9-2 化学分析棟における分析装置（将来追設予定分を含む）

取扱試料	分析装置	測定対象核種	配備数
モニタリング試料：海水等 排水試料：地下水パイパス、サブドレン ALPS出口水：最終段 等	Ge半導体検出装置	γ線放出核種 (Cs-134、137など)	12
	α自動測定装置	全α	2
	低バックガスフ ロー計数装置	全β、Sr-90	5
	β核種分析装置	Sr-90	2
	低バック液体シンチレーション 計数装置	トリチウム、C-14 Cd-113m、Ni-63	9 (さらに3台追設予定)
	誘導結合プラズマ 質量分析装置 (ICP-MS)	I-129、Tc-99	2
	希ガス質量分析 装置 (He-MS)	トリチウム	2 (追設予定)
	低エネルギー光 子用高純度 Ge	低エネルギーγ線放出核種 (Sn-126含む)	2 (追設予定)

	半導体検出器 (LEPS)		
--	------------------	--	--

また、測定に使用する計測器は、日常点検として標準線源や標準液による検出効率の確認を作業着手時に行い、装置性能の維持を確認した上で試料の測定を行っている。表 9-3 に福島第一原子力発電所に設置されている計測器の日常点検（検出効率の確認）の概要を示す。

表 9-3 計測器の日常点検における検出効率の確認

計測器	標準線源	確認方法
Ge 半導体検出器	Co-57, Ba-133, Cs-137, Mn-54, Co-60	頻度：日々の作業開始時 方法：標準線源のエネルギーごとに検出効率を求め、判定値以内（±10%）を確認 逸脱時の措置：前回の判定値以降の計測試料に対し再評価を行い、必要に応じて逸脱期間の試料を対象に再計測を実施
α自動測定装置	Am-241	
β核種分析装置	Sr-90 Cs-137	
低バック液体シンチレーション計数装置	トリチウム	
誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS)	Li, Co, Y, Tl	頻度：使用の都度 方法：元素ごとに強度を測定し、判定値以上を確認後、測定前に検量線を作成 標準液の強度：Li: >1000 Co, Y: >200 Tl: >800

9-1-2. 力量面での分析能力

当社が主体となって行う分析作業は東京パワーテクノロジー株式会社⁴³（以下、「TPT」）に委託する。当社は分析に係る計画を策定、計画に見合うリソースを準備し、TPT が行う作業を監理するとともに、分析結果に基づき放出可否判断や分析データの管理・公表などを行う。

分析作業を監理する当社社員は、社内現業技術・技能認定制度により、技術・技能水準を有することが認定された者がその任に当たることとし、力量評価およびその有効性評価を定期的に実施することにより、力量の確保を計画的に実施している。

一方、分析作業の委託先である TPT では、C-14 のような測定に高い技能を求められる核種（以下、「難測定核種」）を確実に分析する能力を維持できるよう、技能の高い分析員を増員・確保し、力量の維持を図っている。さらに、所内分析室間の分析技能試験をはじめ、

⁴³ 東京電力ホールディングス株式会社の 100%子会社であり、当社など電力関連設備の設計・建設・運転・保守のほか、環境調査測定およびその評価ならびに各種物質等の調査・分析および測定や、放射性物質および放射線の管理、除染全般ならびに放射性廃棄物の加工処理・処分等にも強みがある。

IAEA Proficiency Test Exercise⁴⁴への参加、国内分析機関とのクロスチェック等を継続的に行い、第三者の視点で客観的に技能確認ができるようにしている。

化学分析棟では、Cs-134、Cs-137 およびトリチウムにかかる ISO/IEC 17025 認証⁴⁵を取得・維持しており、今後 Sr-90 分析についても認証取得を計画している。また、放出判断に用いるデータについては、当社が指定し委託している第三者機関の分析値と比較して妥当性を確認している。表 9-4 に当社（TPT）および社外委託分析機関ごとの認証機関による認証取得状況を示す。

表 9-4 当社（TPT）および社外委託分析機関の認証取得状況

機関	認証	取得状況（17025）
TPT（福島第一）	ISO/IEC 17025 ISO 9001	（化学分析棟）Cs-134, Cs-137, トリチウム
（株）化研	ISO/IEC 17025	Cs-134, Cs-137 I-131 Sr-90 トリチウム
（公財）日本分析センター	ISO/IEC 17025 ISO 9001	ガンマ線放出核種 トリチウム 放射性ストロンチウム プルトニウム 等
東北緑化環境保全（株）	ISO/IEC 17025 ISO 9001	Cs-134, Cs-137 I-131 トリチウム

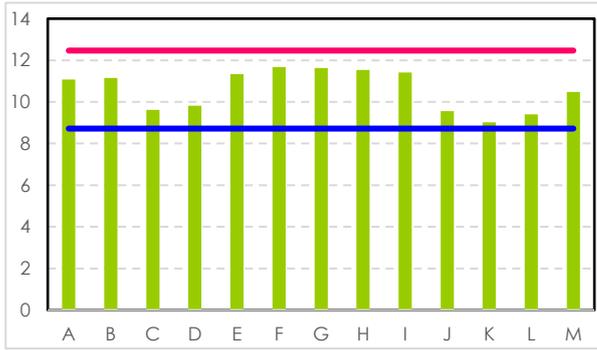
分析員個人の力量把握については、OJT により難測定核種の分析対応可能者を増員させるとともに、トリチウム、ならびにセシウムの分析担当者全員を対象に、ISO/IEC 17025 認証⁴⁶対象核種に対して年 1 回、既知濃度試料を用いた測定による力量確認を ISO 審査手法である Z スコア（検定濃度±標準偏差の 2 倍の範囲内にあること）で確認している（図 9-1 参照）。

⁴⁴ IAEA が、テスト用の結果既知の試料を用意し、各参加分析機関に提供、それを各機関が分析し、結果を IAEA がテスト用試料の成分と比較することで、各機関の分析の正確性を評価するもの。

⁴⁵ 認証の対象となる試験所・校正機関が正確な測定・校正結果を生み出す能力があるのか審査機関が審査し、そのような能力を持つことを証明すること。

⁴⁶ 「公共水域水、排水、土壌、灰及び汚泥の放射性核種（Cs134/Cs137 及び H-3 を含む）分析試験」（認証機関：Perry Johnson Accreditation Inc., 認定証番号：L20-355-R1）

(Bq/L)



分析員

H-3 技能試験対象者：分析員 13 名 (A~M)

検体濃度：10.2Bq/L

試料作成者による 3 試料 10 回繰返測定値の中間値

実施期間：2020/10/9~29

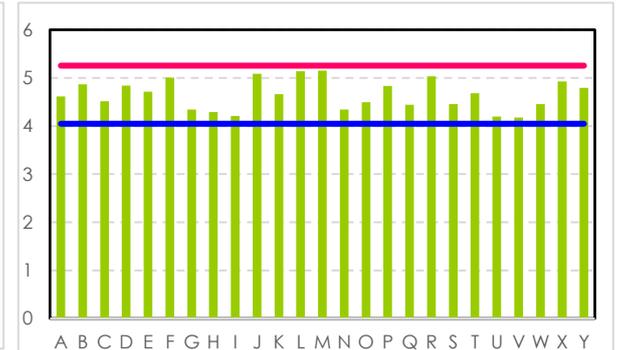
実施場所：化学分析棟

判定方法：Z スコア (ISO 審査手法)

判定値： $|Z| \leq 2$

(Bq/L)

— : $|Z|=2$ 濃度



分析員

Cs-137 技能試験対象者：分析員 25 名 (A~Y)

検体濃度：4.5Bq/L

試料作成者による 10 回繰返測定値の中間値

実施期間：2020/7/29~8/6

実施場所：化学分析棟

判定方法：Z スコア (ISO 審査手法)

判定値： $|Z| \leq 2$

図 9-1 分析員の力量確認の例 (2020 年度実施結果)

9-1-3. 当社による管理および監督

当社は、委託先に対して定められた分析手順の遵守や分析員の力量確保を契約により要求し、分析手順書や力量管理記録の提出を受けて内容を確認している。

また、図 9-2 に分析の流れと品質を維持するシステムの概要を示すとおり、分析プロセスを一定品質に保ち、データの異常を検知する仕組みを構築している。

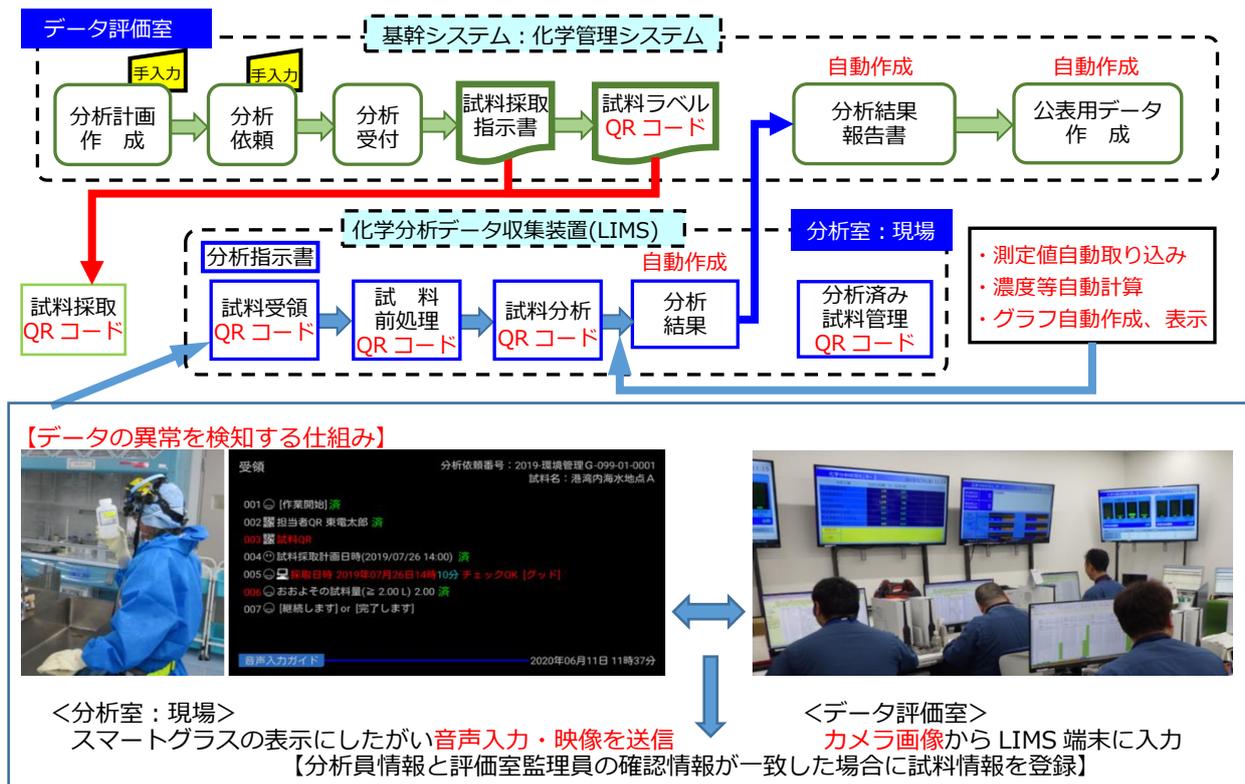


図 9-2 分析の流れと品質を維持するシステムの概要

この他、以下のような取り組みを行っている。

- 手順書の使用状況や仕様書の履行状況の確認をすべての分析室で定期的実施（福島第一原子力発電所構内で実施する分析作業すべてを対象に実施）
- 業務品質および作業安全を確保するため、分析員が交代しても同じ手順で作業ができることを要求
- 手順書の確認方法を標準化
- 第三者機関に対しても作業手順書の提出を仕様書で要求し、作業プロセスの品質管理に対する当社の関与を強化
- 業務着手前に委託先に対して、安全事前評価によるリスク抽出を指導し、特に当社より過去の不適合事例を説明し、ルール遵守の徹底を意識付け

- 毎月、委託先に対し、分析業務における課題や過去の不適合の再発防止対策の実施状況について協議し、パフォーマンスを維持・向上
- 毎月、委託先とともに、分析作業の現場観察による不安全状態の抽出を行い、現場の安全確保・作業品質を維持
- 委託先が制定した分析手順書の履行状況を確認し、作業上の改善点の抽出・是正を指導

9-2. 福島第一原子力発電所の敷地内のモニタリング

敷地内で行われるものは、①放出可否判断や希釈倍率決定に結果を使用する、測定・確認用設備での64核種の測定・評価（ソースモニタリング）、②放出開始直後の放出判断に使用する、海水による処理水の希釈・混合状態の確認のための放水立坑（上流水槽）で採取する試料によるモニタリング、③連続放出中に毎日一回希釈状態を確認するために実施する海水配管から採取する試料によるモニタリング、の3種類があり、そのすべてを当社が主体的に行う。本項では、モニタリングを正確なものに維持するために用いられる手順等についても含め説明する。

福島第一原子力発電所構内で行われるモニタリングについて、図9-3に示す。

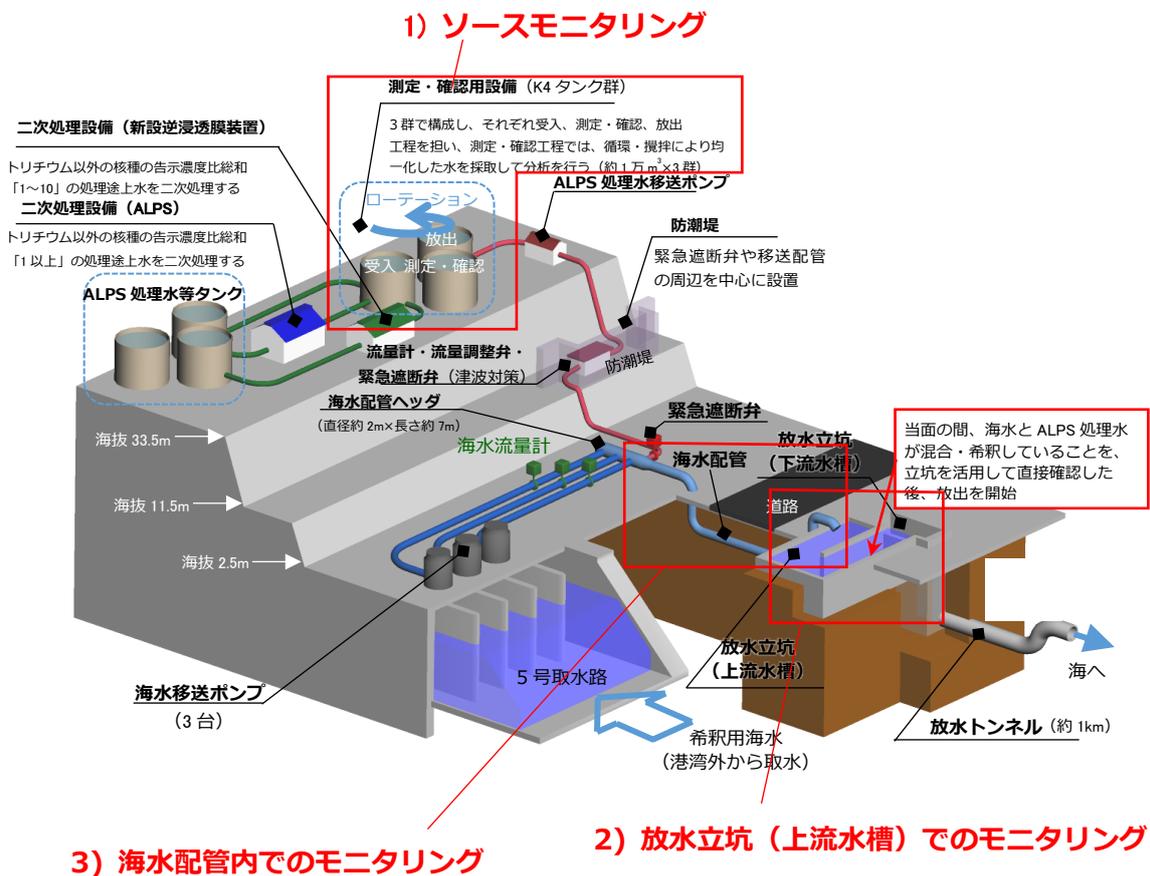


図9-3 福島第一原子力発電所敷地内で行われるモニタリング

9-2-1. ソースモニタリング

ソースモニタリングとは、ソースターム（1年間に海洋に放出されるALPS処理水に含まれる核種ごとの年間放出量（総量））についてのモニタリングである。この分析は、測定・確認用設備がALPS処理水で満水となる都度、ALPS処理水を均一化した後に試料を採取し、ALPS処理水に含まれるすべての測定対象核種（トリチウム、C-14およびALPSの除去対象62核種）の分析・評価⁴⁷を行うものである。当社は、その分析結果をもって、

- トリチウムを除く63核種の濃度の告示濃度比総和⁴⁸が規制基準である1を下回っていることの確認
- 測定したトリチウム濃度から、希釈後の濃度が確実に国の基本方針で定められた濃度である1,500Bq/L未満となるように、希釈放出されるALPS処理水の流量を決定すること

の根拠とする。

したがって、採取する試料の代表性を確保するため、測定・確認用設備に貯留されるALPS処理水の均一性が極めて重要である。試料が採取される測定・確認用設備は、約1,000m³の容量を持つタンク10基を連結配管により連結し、一体的に運用できるようにしたタンク群を1群として、このタンク群3群より構成される。各タンク群には、貯留されるALPS処理水を均一化するため、タンク内を攪拌し、タンク間を循環させる循環・攪拌設備を設け、これを適切に運転することによって、試料の代表性を確保する。

試料の分析は、福島第一原子力発電所構内に設置され、今後拡張される予定（表9-2参照）の化学分析棟にてTPT分析員が行う。これに加えて、当社が第三者として指定する分析機関、国が第三者として指定する分析機関の他、ALPS処理水の処分に関するレビューの一環としてIAEA研究機関およびIAEAが指定する加盟国の分析機関が関与することで、多重的に分析結果が検証される仕組みとなっている。国およびIAEAが主体となる分析については、現在、国およびIAEAにて協議を行っているところである。その結果についても公表される予定である。

⁴⁷ 測定対象核種の中には測定・評価に時間を要する核種があり、二次処理性能確認試験では測定・評価に2ヶ月程度を要した（短縮方法を検討中）。そのため、当社は、測定・確認用設備の容量として、約10,000m³（2ヶ月分の発生量（150m³/日））の保管容量を確保する予定。

⁴⁸ 参考A「福島第一原子力発電所の敷地境界線量評価と日本国内法における告示濃度限度について」参照

測定・確認用設備における各核種の測定・評価方法を表 9-5 に、核種ごとの目標検出下限値および準拠手法を表 9-6 に示す。

表 9-5 各核種の測定および評価方法

No.	核種	線種	測定または評価方法
1	Mn-54	γ	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
2	Fe-59	γ	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
3	Co-58	γ	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
4	Co-60	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
5	Ni-63	β	レジンにより単離、シンチレータを混合し、低バック液体シンチレーション計数装置にて計数
6	Zn-65	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
7	Rb-86	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
8	Sr-89	β	レジンにより単離、沈殿回収したものをマウントし、ステンレス皿にて β 核種分析装置により計数
9	Sr-90	β	レジンにより単離、沈殿回収したものをマウントし、ステンレス皿にて β 核種分析装置により計数
10	Y-90	β	【評価値】 Sr-90 と放射平衡として濃度評価
11	Y-91	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
12	Nb-95	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
13	Tc-99	β	試料を希硝酸で希釈し、誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) により計数
14	Ru-103	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
15	Ru-106	β	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
16	Rh-103m	$\beta\gamma$	【評価値】 Ru-103 と放射平衡として濃度評価
17	Rh-106	γ	【評価値】 Ru-106 と放射平衡として濃度評価
18	Ag-110m	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
19	Cd-113m	γ	イオン交換により単離、シンチレータと混合し、低バック液体シンチレーション計数装置により計数
20	Cd-115m	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
21	Sn-119m	γ	【評価値】 Sn-123 の放射能濃度測定値および計算による核種存在比から評価
22	Sn-123	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数

No.	核種	線種	測定または評価方法
23	Sn-126	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
24	Sb-124	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
25	Sb-125	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
26	Te-123m	γ	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
27	Te-125m	γ	【評価値】Sb-125 と放射平衡として濃度評価
28	Te-127	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数、親核種(Te-127m)の半減期を使用して評価
29	Te-127m	$\beta\gamma$	【評価値】Te-127 の放射能濃度測定値および計算による核種存在比から評価
30	Te-129	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数、親核種(Te-129m)の半減期を使用して評価
31	Te-129m	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
32	I-129	$\beta\gamma$	試料に試薬添加によりヨウ素酸イオンに調整後、誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) により計数
33	Cs-134	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
34	Cs-135	β	【評価値】Cs-137 の放射能濃度測定値および計算による核種存在比から評価
35	Cs-136	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
36	Cs-137	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
37	Ba-137m	γ	【評価値】Cs-137 と放射平衡として濃度評価
38	Ba-140	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
39	Ce-141	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
40	Ce-144	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
41	Pr-144	$\beta\gamma$	【評価値】Ce-144 と放射平衡として濃度評価、親核種 (Pr-144m) の半減期を使用して評価
42	Pr-144m	γ	【評価値】Ce-144 と放射平衡として濃度評価
43	Pm-146	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
44	Pm-147	$\beta\gamma$	【評価値】同族の Eu-154 の放射能濃度測定値および計算による核種存在比から評価
45	Pm-148	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
46	Pm-148m	γ	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
47	Sm-151	$\beta\gamma$	【評価値】同族の Eu-154 の放射能濃度測定値および計算による核種存在比から評価

No.	核種	線種	測定または評価方法
48	Eu-152	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
49	Eu-154	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
50	Eu-155	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
51	Gd-153	γ	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
52	Tb-160	$\beta\gamma$	均一化した試料をマリネリ容器に分取し、Ge 半導体検出装置にて計数
53	Pu-238	α	試料を鉄共沈させ除鉄した後、ステンレス皿に蒸発乾固し、ZnSa自動測定装置で計数した全 α 測定値を他核種と案分せずそのまま使用
54	Pu-239	α	試料を鉄共沈させ除鉄した後、ステンレス皿に蒸発乾固し、ZnSa自動測定装置で計数した全 α 測定値を他核種と案分せずそのまま使用
55	Pu-240	α	試料を鉄共沈させ除鉄した後、ステンレス皿に蒸発乾固し、ZnSa自動測定装置で計数した全 α 測定値を他核種と案分せずそのまま使用
56	Pu-241	β	【評価値】全 α 計数値と Pu-238 の同位体存在比から評価
57	Am-241	α	試料を鉄共沈させ除鉄した後、ステンレス皿に蒸発乾固し、ZnSa自動測定装置で計数した全 α 測定値を他核種と案分せずそのまま使用
58	Am-242m	α	【評価値】Am-241 の同位体存在比から評価
59	Am-243	α	試料を鉄共沈させ除鉄した後、ステンレス皿に蒸発乾固し、ZnSa自動測定装置で計数した全 α 測定値を他核種と案分せずそのまま使用
60	Cm-242	α	試料を鉄共沈させ除鉄した後、ステンレス皿に蒸発乾固し、ZnSa自動測定装置で計数した全 α 測定値を他核種と案分せずそのまま使用
61	Cm-243	α	試料を鉄共沈させ除鉄した後、ステンレス皿に蒸発乾固し、ZnSa自動測定装置で計数した全 α 測定値を他核種と案分せずそのまま使用
62	Cm-244	α	試料を鉄共沈させ除鉄した後、ステンレス皿に蒸発乾固し、ZnSa自動測定装置で計数した全 α 測定値を他核種と案分せずそのまま使用
-	トリチウム (FWT)	β	蒸留により単離、シンチレータを混合し、低バック液体シンチレーション計数装置にて計数
-	C-14	β	CO ₂ にして吸収剤に捕集して単離、シンチレータと混合し、低バック液体シンチレーション計数装置にて計数

表 9-6 分析核種ごとの目標検出下限値および準拠方法

核種	分析方法	目標検出下限値 ⁴⁹	準拠手法
γ線放出核種	マリネリ容器に試料を分取し、Ge半導体検出器にて測定	0.07Bq/L Cs-137にて設定 ⁵⁰	放射能測定法シリーズ No.7 (ゲルマニウム半導体検出器によるγ線スペクトロメトリー)
Sr-89/90	Sr レジンにより Sr を精製した後、炭酸塩として沈殿・回収したものをβ核種分析装置にて測定	0.04Bq/L Sr-90にて設定 ⁵¹	JAEA-Technology2009-051 (研究施設等廃棄物に含まれる放射性核種の簡易・迅速分析法(分析指針))
I-129	試料に次亜塩素酸を添加してヨウ素酸イオンに調整した後、誘導結合プラズマ質量分析装置にて測定	0.2Bq/L	放射能測定法シリーズ No.32 (環境試料中ヨウ素 129 迅速分析法)
トリチウム	蒸留によって不純物を取り除いた試料とシンチレータを混合した後、低バック液体シンチレーション計数装置にて測定	30Bq/L	放射能測定法シリーズ No.9 (トリチウム分析法)
C-14	試料に濃硝酸、過硫酸カリウムを添加して加熱し、発生したCO ₂ を吸収剤に捕集してシンチレータと混合した後、低バック液体シンチレーション計数装置にて測定	10Bq/L	放射能測定法シリーズ No.25 (放射性炭素分析法) 日揮：放射性廃棄物の放射化学分析方法について
Tc-99	試料を硝酸で希釈し、誘導結合プラズマ質量分析装置にて測定	2Bq/L	原子力環境整備センター：放射化学分析手法の高度化・合理化研究
全α放射能	α核種を水酸化鉄に共沈させ、抽出操作により除鉄した後ステンレス皿に蒸発乾固後焼き付けしたものをα自動測定装置にて測定	0.04Bq/L	動力炉・核燃料開発事業団東海事業所：標準分析作業法
Cd-113m	イオン交換により Cd を精製・回収し、シンチレータと混合した後、低バック液体シンチレーション計数装置にて測定	0.2Bq/L	分析化学, vol.63, No.4 (低バック液体シンチレーション計数装置を用いるβ線計測法による福島第一原子力発電所の滞留水中の ^{113m} Cd 分析法の検討)
Ni-63	Ni レジンにより Ni を精製・回収し、シンチレータと混合した後、低バック液体シンチレーション計数装置にて測定	20Bq/L	JAEA-Technology2009-051 (研究施設等廃棄物に含まれる放射性核種の簡易・迅速分析法(分析指針))

⁴⁹ 告示濃度比総和 1 未満を満足していることを確認するために設定した核種ごとの値

⁵⁰ 他の核種はベースライン、妨害核種、バックグラウンドおよびγ線放出率によって変動

⁵¹ Sr-89 は Sr-90 濃度によって変動

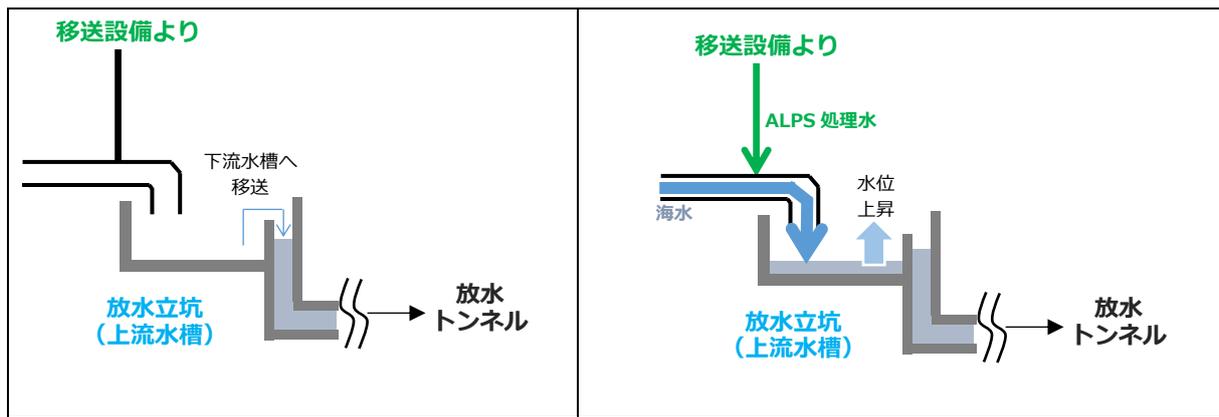
9-2-2. 放水立坑（上流水槽）でのモニタリング

海洋に放出する ALPS 処理水は、ALPS 等によってトリチウムを除く 63 核種の告示濃度比総和が 1 を下回るまで処理を行うことにより、環境中に放出される水の安全性を確保する。

一方、ALPS 処理水等には、これまでに分かっている範囲で最高 216 万 Bq/L、最低でも約 15 万 Bq/L のトリチウムが含まれていることから、法律で定める環境への放出に関する上限である告示濃度限度（6 万 Bq/L）を超えている。加えて、2021 年 4 月の国の基本方針において、放出時のトリチウム濃度を地下水バイパスおよびサブドレンと同様、1,500Bq/L 未満とすることが謳われている。当社は、これを踏まえて、告示濃度限度を満足させるため、また、消費者等の懸念を少しでも払拭し、風評影響を最大限抑制するため、大量の海水で希釈してから放出を行う。

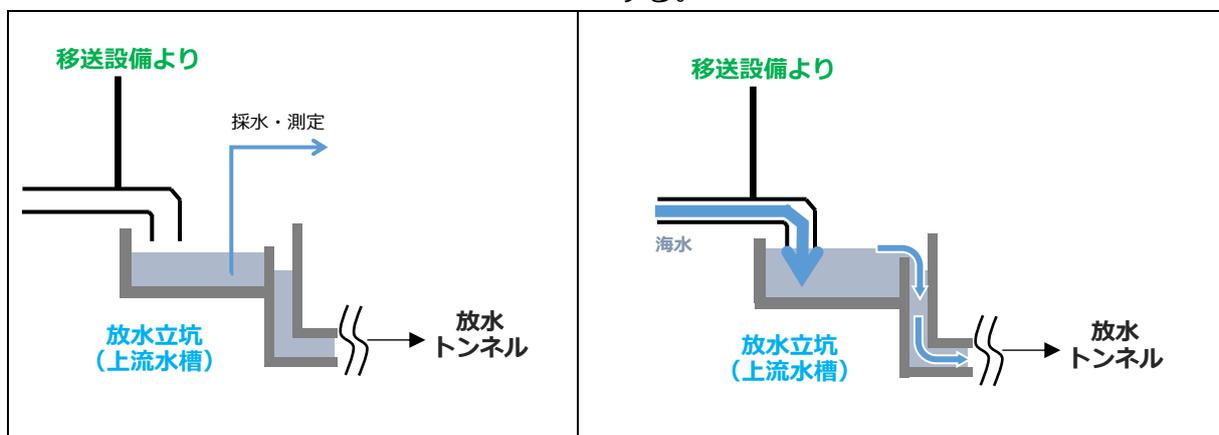
トリチウムは、弱いベータ線を放出する核種であり、弱いベータ線は Cs-137 のガンマ線とは違って連続モニタリングを行うようなことができない。そのため、適切に希釈されているかどうかの確認は、試料を採取し、液体シンチレーション計数装置での測定により行う。

海洋放出の開始にあたっては、測定・確認用設備における分析・評価（上記 9-2-1.参照）の結果、トリチウム以外の 63 核種の告示濃度比総和が 1 を下回っていることが確認された ALPS 処理水（約 1 万 m³/タンク群）ごとに、以下の図 9-4 に示す手順により、希釈設備により適切な希釈が行われ、環境に放出する直前の放水立坑（上流水槽）においてトリチウム濃度が 1,500Bq/L 未満となっていることを、当面の間、確認する。



①いったん、放水立坑（上流水槽）内を空にする。

②移送設備で移送し ALPS 処理水を希釈設備で希釈した水を放水立坑（上流水槽）に貯留する。



③放水立坑（上流水槽）が満水になる前にポンプを停止し、放水立坑（上流水槽）内の水を採水・測定する（結果が出るまで放出しない）。

④トリチウム濃度を確認し、計算上のトリチウム濃度と実際の濃度が同程度であること、および 1,500 ベクレル/リットルを下回っていることが確認できた後、再度海水を流し、放水立坑（上流水槽）内の水を海洋へ放出する。

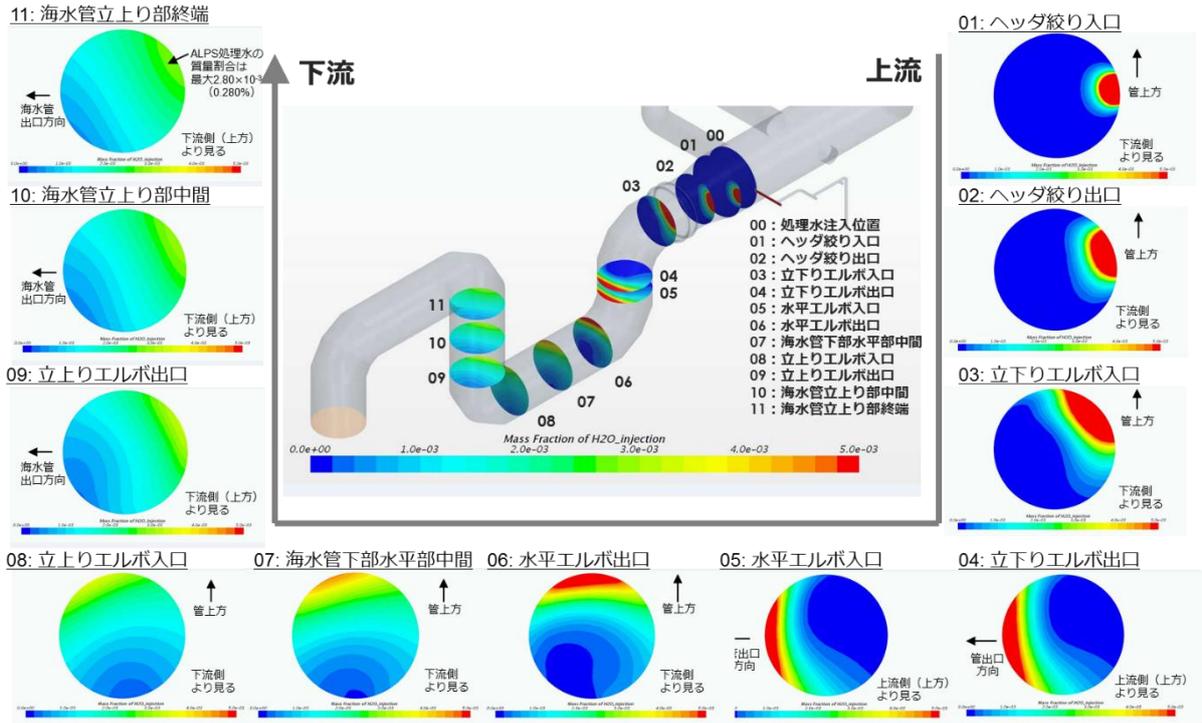
図 9-4 放水立坑（上流水槽）における分析および放出手順

9-2-3. 海水配管内でのモニタリング

上記 9-2-2.の結果、適切な希釈が行われることが確認された後、残りの ALPS 処理水（約 1 万 m³/タンク群）を希釈して放水立坑（上流水槽）に送り込み、連続または間欠で放出することとしている。ALPS 処理水移送ポンプの容量は 500m³/日であり、測定・確認用設備のタンク群 1 群の容量（約 1 万 m³/タンク群）を考慮すれば、連続的に放出したとしても、残りの測定済みの ALPS 処理水すべてを放出するのに約 20 日かかる。

この放出期間中も適切にトリチウムの希釈が行われていることを確認する目的で、海水配管に設置されたサンプリング設備により一日に一回試料採取を行い、トリチウム濃度を分析し、原則として翌日公表する運用とする。

なお、海水配管で適切な希釈混合が行われるかについては、流体解析により配管内の各断面における注入した ALPS 処理水の質量濃度を計算することにより、確認した（海水流量 34 万 m³/日、ALPS 処理水流量 500m³/日、理論質量濃度：0.14%）。その評価の結果、ALPS 処理水注入位置から下流側の図 9-5 の 04：立下りエルボ出口で、本設備で目標としている 100 倍以上の希釈効果が得られることが確認された。



名称	断面濃度最大値 (%)
00: 処理水注入位置	100
01: ヘツタ絞り入口	14.26
02: ヘツタ絞り出口	4.16
03: 立下りエルボ入口	1.79
04: 立下りエルボ出口	0.90
05: 水平エルボ入口	0.84
06: 水平エルボ出口	0.71
07: 海水管下部水平部中間	0.46
08: 立上りエルボ入口	0.37
09: 立上りエルボ出口	0.33
10: 海水管立上り部中間	0.30
11: 海水管立上り部終端	0.28

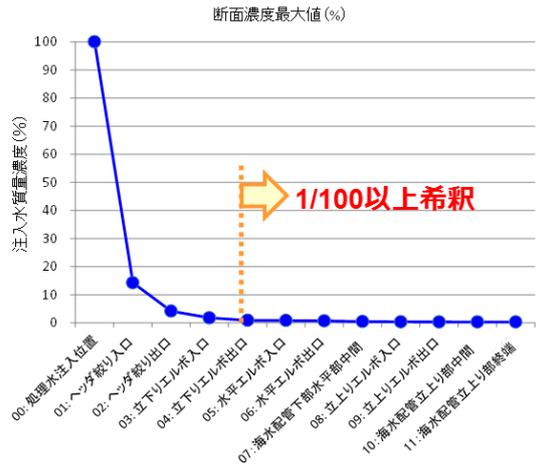


図 9-5 海水配管内における希釈混合に関する流体解析結果

9-3. 敷地外のモニタリング

福島第一原子力発電所事故以降、環境に関するきめ細かなモニタリングを確実かつ計画的に実施するため、政府の原子力災害対策本部の下に「モニタリング調整会議」が設置され、「総合モニタリング計画」が2011年8月に策定された⁵²。この計画に基づき、関係省庁、地方自治体、当社などの各モニタリング実施主体（以下、「実施機関」）が連携して、環境中に放出された放射性物質の拡散、移行等の状況の把握を目的に、海域についてはCs-134、Cs-137、Sr-90を中心にモニタリングを行ってきた。総合モニタリング計画では、各実施機関の役割分担が定義されており、その定義にしたがい各実施機関が役割を果たしてきた。

2021年4月のALPS処理水の処分に関する国の基本方針公表後、各実施機関において、海域モニタリングの強化・拡充について検討を行っている（9-3-1.、9-3-2.参照）。当社はALPS処理水の海洋放出にあたり、法令に基づく規制基準等を遵守し、国際法や国際慣行を踏まえた措置をとるという観点に加え、風評影響の抑制という観点、国内外の方々の懸念払拭ならびに理解醸成の観点から、海域モニタリングの強化・拡充が重要であると認識している。当社による検討結果は、2022年3月30日に開催されたモニタリング調整会議にて、総合モニタリング計画に反映された。図9-6に各実施機関によるモニタリングの位置付けを示す。

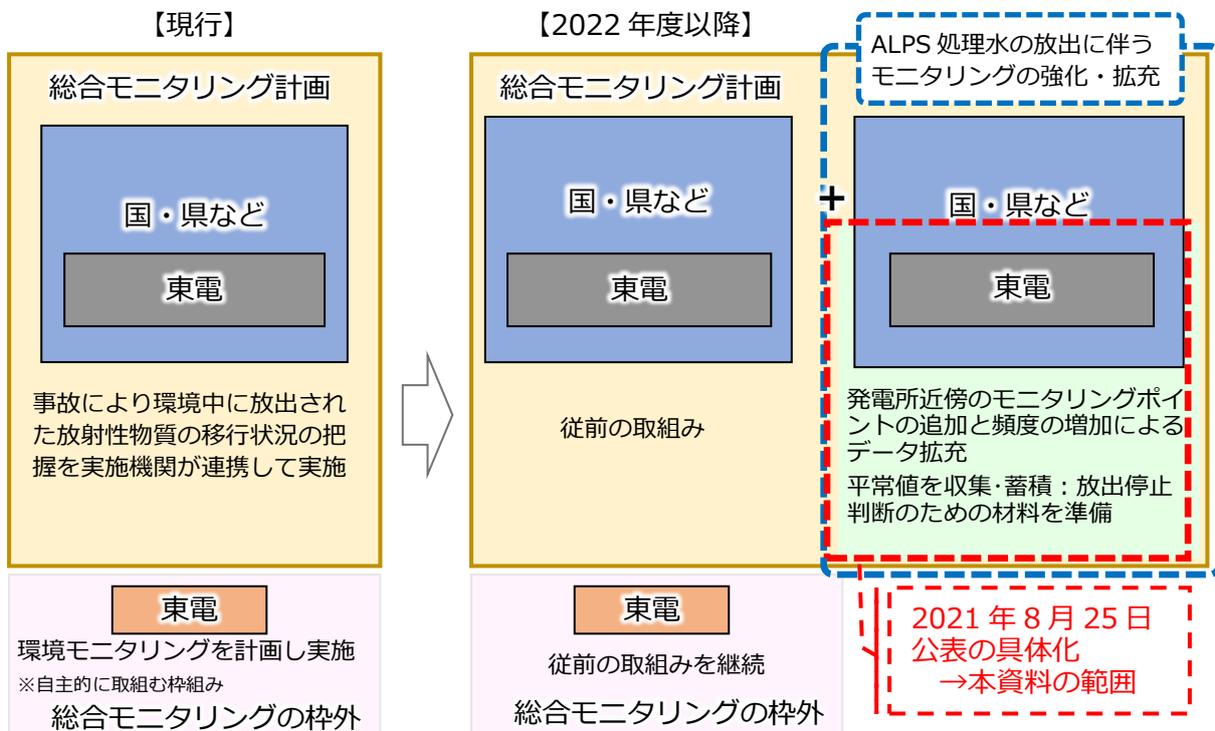


図 9-6 各実施機関によるモニタリングの位置づけ

⁵² 原子力災害対策本部モニタリング調整会議「総合モニタリング計画」（2022年3月30日改定）

<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/511/list-1.html>

以下では、2022年3月末時点で、実施機関ごとに従前実施してきたモニタリングおよび今後実施が予定されている各モニタリング計画を示す。

9-3-1. 東京電力による福島第一原子力発電所周辺の海域モニタリング

従前、総合モニタリング計画の一環として、当社は以下のモニタリングを実施してきた。

表 9-7 従前の総合モニタリング計画に基づく当社海域モニタリングの概要

対象	対象核種	実施頻度
		(地点・核種によって異なる)
海水	Cs-134,137、ストロンチウム、トリチウム、プルトニウム	毎日～半年に1回
海底土	Cs-134,137、ストロンチウム、プルトニウム	月に1回～半年に1回
魚介類	Cs-134,137	月1回

当社は、2021年4月の国の基本方針を踏まえ、ALPS処理水の海洋放出に伴う風評影響を最大限抑制するため、同月、これまで以上に海域モニタリングを強化・拡充することを含む、「基本方針を踏まえた当社の対応」を公表した⁵³。

その後、当社は、ALPS処理水の海洋放出の実施主体として、2021年8月に海域モニタリング（計画）を示した⁵⁴後、同年11月には本放射線影響評価において、ALPS処理水の拡散の状況をシミュレーションにより評価した。その結果、現状からトリチウム濃度が変化する⁵⁵と評価された発電所近傍を中心に、福島県沖の海域について、拡散状況や魚類・海藻類への放射性物質の移行状況を確認するための海域モニタリングを再度検討した⁵⁶。

当社は、放出後の拡散状況や移行状況と比較するデータを継続的に取得するため、2021年8月に公表した検討結果に加えて検出下限値を設定した海域モニタリング計画を策定し、放出開始前の2022年4月から、計画の運用を開始した。このモニタリングの実施（試料採取、放射能測定等）にあたっては、農林水産業者や地元自治体関係者等の参加や視察をお願いするとともに、モニタリング結果の客観性、信頼性を担保するため、ソースモニタリングと同様、当社の指定する第三者機関による分析の他、IAEAによる関与も得る予定である。

⁵³ 福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分に関する政府の基本方針を踏まえた当社の対応について https://www.tepco.co.jp/press/release/2021/1596975_8711.html

⁵⁴ 多核種除去設備等処理水の取扱いに関する検討状況【概要】 <https://www.tepco.co.jp/press/release/2021/pdf3/210825j0101.pdf>

⁵⁵ ただし、変化する濃度は1~2Bq/Lとの評価であり、WHO飲料水水質ガイドラインの10,000Bq/Lの1万分の1から5千分の1程度。

⁵⁶ 2020年3月の拡散シミュレーション結果から採取点を追加、その後、本評価により変更の必要がないことを確認。平常値の把握のため頻度を増加するとともに、海洋生物への移行状況の確認を強化。

当社は、海水だけでなく、放出による海生動植物への放射性物質の移行状況を確認するため、魚類と海藻類のモニタリングも行う予定である。

当社は、以下のとおり海域モニタリングを強化・拡充することとした。当社の海域モニタリング強化・拡充の具体的内容を図 9-7 に示す。

- 測定点・測定対象の増加

- 当社は ALPS 処理水の海洋放出を行う実施主体であることに鑑み、特に放水口周辺を中心に重点的にモニタリングを実施することとし、発電所近傍、福島県沿岸において、海水および海洋生物（魚類）のトリチウム測定点を計 13 点増加する（図 9-7 の赤枠およびオレンジ枠参照）。
- 海水モニタリングについては、当社は、今回の人および環境への放射線影響評価で考慮した「日常的に漁業が行われていないエリア」の境界線上の 3 点を新たにモニタリング地点として追加し、海水をモニタリングする（図 9-7 赤字参照）。
- 魚類については、現在、福島県沖 20km 圏内の 11 ヶ所（うち 1 ヶ所は現在もトリチウム分析を実施している）で採取したサンプルに基づき、放射線影響を測る上で代表的⁵⁷なセシウム¹³⁷の分析を行っているが、トリチウムの濃縮の影響を確認するために現在トリチウムの分析を行っていない 10 ヶ所を加えた全 11 ヶ所で採取した魚へのトリチウム分析を行う（図 9-7 右図のオレンジ色枠参照）。なお、同地点での海水もトリチウム分析を行う。
- 海藻類については、現在ガンマ核種を分析している港湾内 1 ヶ所に加えて、新たに港湾外の 2 ヶ所で採取し、分析を行う（図 9-7 の緑枠参照）。トリチウムを測定核種へ追加してその濃縮の有無等を確認するとともに、海藻類で濃縮しやすいヨウ素についても測定核種に追加する。
- なお、強化・拡充するトリチウム、I-129 以外の核種（Cs-134、Cs-137、ストロンチウム 90 (Sr-90)、プルトニウム 238 (Pu-238)、プルトニウム 239+240 (Pu-239+240)）については、従前からの測定を継続する⁵⁸。

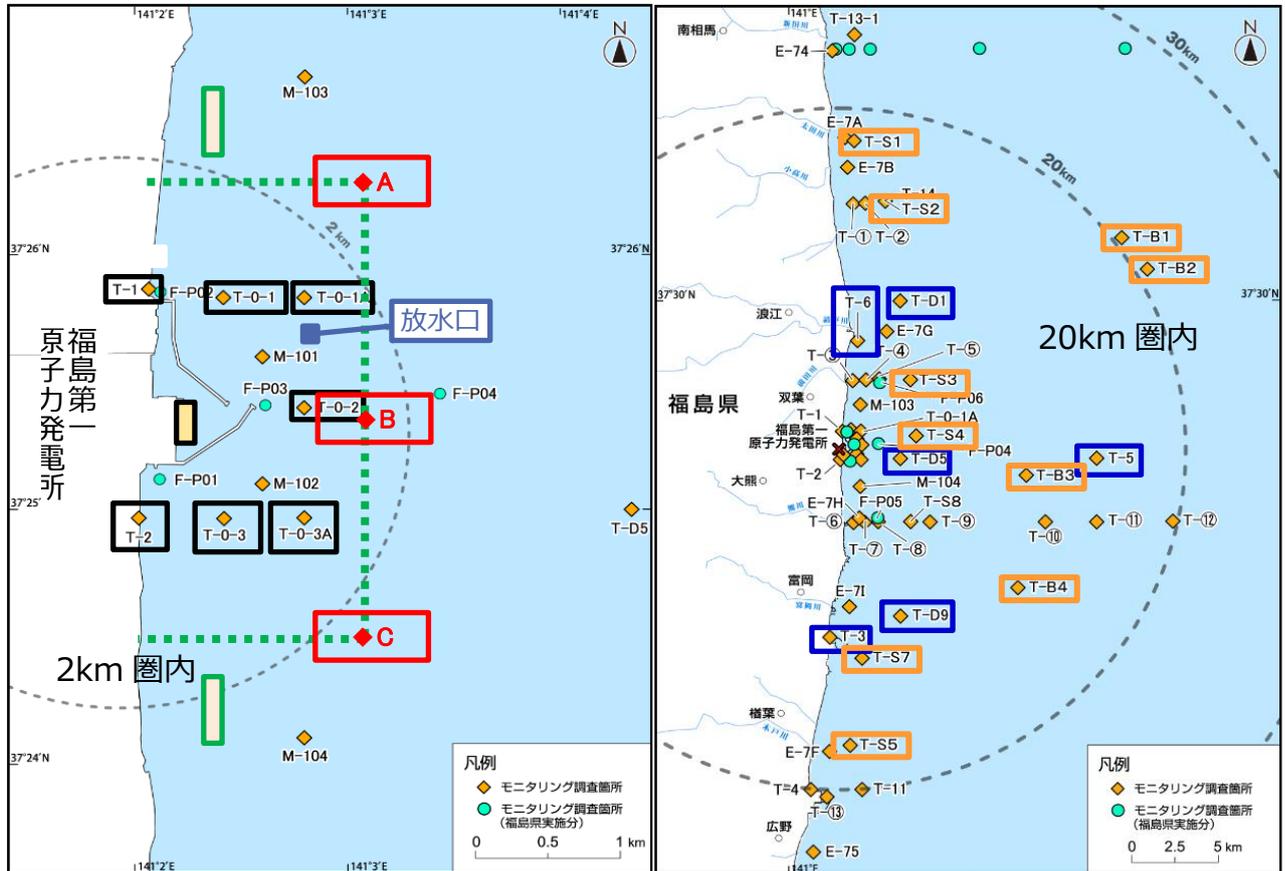
- 頻度の増加

- 測定点の増加とともに、これまでも海水のトリチウム測定を行っていた地点では、その頻度を増加させる（図 9-7 の青枠参照、頻度については表 9-9 参照）。

⁵⁷ 強いガンマ線を放出する核種であるため。

⁵⁸ 環境中での移行・拡散プロセスを考慮してトリチウムを中心としたモニタリングを行うが、強化したモニタリングにて異常が確認された場合、これら核種および C-14 の追加的モニタリングの必要性について検討を行う。

- 検出下限値を国の目標値と整合するよう設定
 - 海水中での放射性物質の拡散状況や海洋生物の状況を確認するため、トリチウムおよび I-129 の検出下限値を、国の検出下限目標値と整合する程度まで引き下げるよう設定する(図 9-7 の黒枠参照、検出下限値については表 9-9 参照)。



<凡例>

【現行の総合モニタリング計画】

- 原子力規制委員会 M-○
- 環境省 E-○
- 水産庁(水産物)
- 福島県 F-○
- 東京電力 T-○

【東京電力の強化計画】

- 黒枠: 検出下限値を見直す点(海水)
- 赤枠: 新たに採取する点(海水)
- 青枠: 頻度を増加する点(海水)
- オレンジ枠: セシウムにトリチウムを追加する点(海水、魚類)
- 黄枠: 従来と同じ点(海藻類)
- 緑枠: 新たに採取する点(海藻類)

- 緑点線: 日常的に漁業が行われていないエリア
東西 1.5km 南北 3.5km
※: 共同漁業権非設定区域

図 9-7 当社が強化・拡充する海域モニタリングの試料採取点
(発電所近傍・沿岸 20km 圏内)

さらに、これまではトリチウム分析を行っておらず、当社の海洋拡散シミュレーションでも海水のバックグラウンドを超える濃度にはならないと試算される「福島第一原子力発電所沖 20km 圏外」においても、今回新たに9点においてモニタリングを行うこととした。

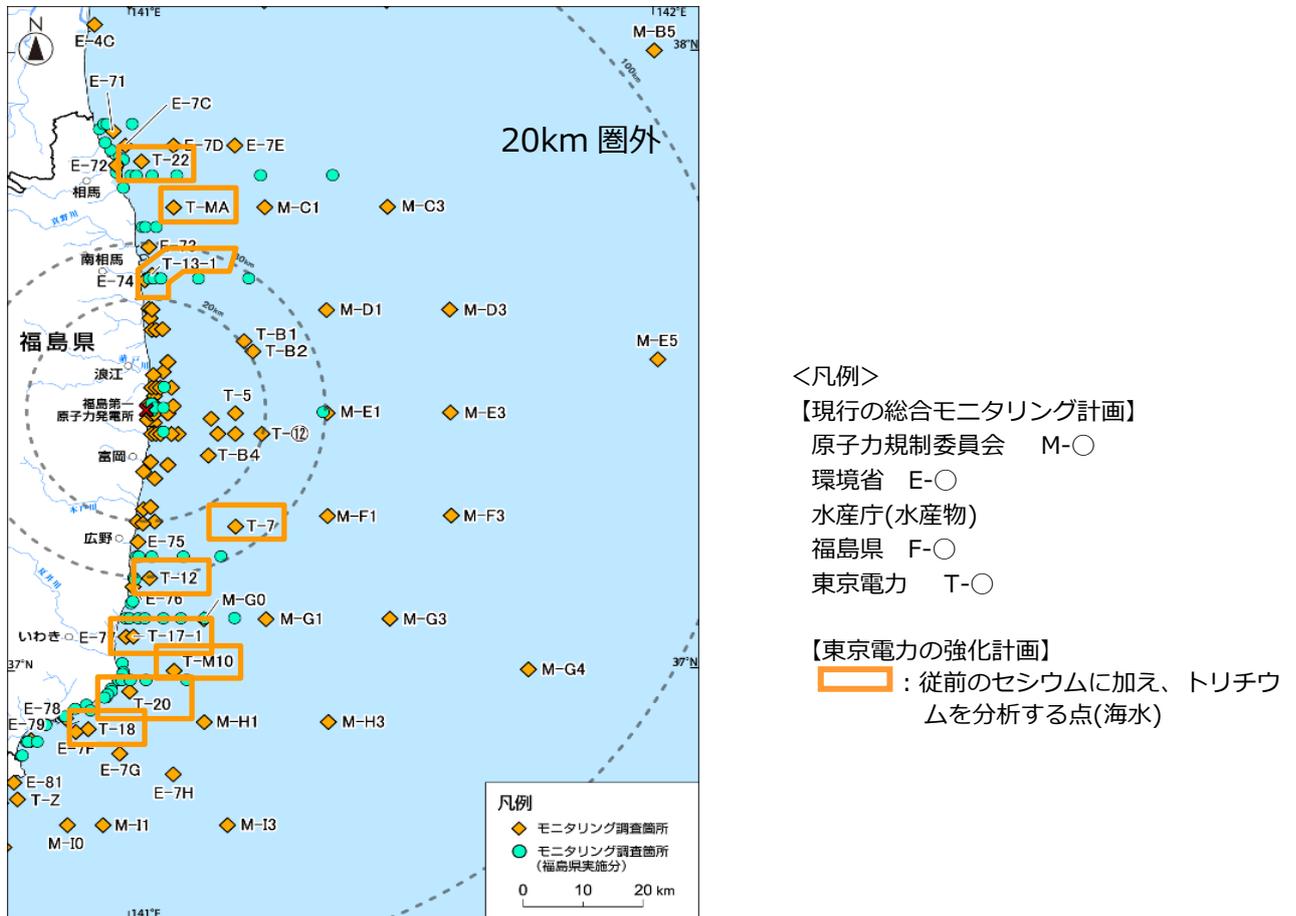


図 9-8 当社が強化・拡充する海域モニタリングの試料採取点（沿岸 20km 圏外）

以上から、当社が実施する海域モニタリングにおけるトリチウム分析の頻度、試料採取点数は、従前と比較し以下の表 9-8 のように増加する。

表 9-8 当社が実施する福島第一原子力発電所近傍および沿岸海域における海域モニタリングに係るトリチウム分析の頻度および試料採取点数

実施機関	トリチウム分析			
	頻度	試料採取点数		
		海水	魚類	海藻類
東京電力ホールディングス	1 回/週	17 → 20	－	－
	2 回/月→1 回/週	6	－	－
	1 回/月	1 → 20	1 → 11	－
	3 回/年	－	－	0 → 2

また、今回の海域モニタリング強化・拡充に伴い、従前の分析対象も含め、下表のように検出下限値を設定する。

表 9-9 測定対象試料と核種、検出下限値（太枠部は現行より強化・拡充する点）

対象	採取場所	採取点数	測定対象核種	頻度	目標検出下限値
海水 (表層)	港湾内	10	Cs-134/137	毎日	0.4 Bq/L
			トリチウム	1回/週	3 Bq/L
	港湾外 2km 圏 内	2 5 → 8 7 → 10	Cs-134/137	1回/週	0.003 Bq/L
			Cs-134/137	毎日	1 → 0.4 Bq/L
			トリチウム	1回/週	1 → 0.4 Bq/L
	沿岸 20km 圏内	6	Cs-134/137	1回/週	0.003 Bq/L
			トリチウム	2回/月 → 1回/週 ^{*2}	0.4 → 0.1 Bq/L ^{*3}
	沿岸 20km 圏内 (魚採取箇所)	1 0 → 10	トリチウム	1回/月	0.1 Bq/L
			トリチウム	なし → 1回/月	0.1 Bq/L
	沿岸 20km 圏外	9 0 → 9	Cs-134/137	1回/月	0.003 Bq/L
トリチウム			なし → 1回/月	0.1 Bq/L	
魚類	沿岸 20km 圏内	11	Cs-134/137	1回/月	10 Bq/kg (生)
			Sr-90 (Cs濃度上位5検体のみ)	四半期ごと	0.02 Bq/kg (生)
		1	トリチウム (FWT)	1回/月	0.1 Bq/L
			トリチウム (OBT)		0.5 Bq/L
		0 → 10	トリチウム (FWT) ^{*4}	なし → 1回/月	0.1 Bq/L ^{*6}
トリチウム (OBT) ^{*5}	0.5 Bq/L				
海藻類	港湾内	1	Cs-134/137	1回/年 → 3回/年	0.2 Bq/kg (生)
	港湾外 2km 圏 内	0 → 2	Cs-134/137	なし → 3回/年	0.2 Bq/kg (生)
			I-129		0.1 Bq/kg (生)
			トリチウム (FWT)		0.1 Bq/L
			トリチウム (OBT)		0.5 Bq/L

*1：必要に応じて電解濃縮法（トリチウムが電気分解されにくい性質を利用した濃縮法）により検出値を得る。

*2：検出下限値を 0.1Bq/L とした測定は、1回/月

*3：電解濃縮装置の設置状況により、当面は 0.4Bq/L にて実施する。

*4：生体の組織中に水として存在しているトリチウム。体内に長く留まることはない。

*5：生体の組織に結合しているトリチウム。組織自由水型に比べ体内に長く留まる。

*6：電解濃縮装置の設置状況により、当面は 0.4Bq/L にて測定を実施する。

これらすべての測定については、当社だけでなく、当社が指定する第三者機関による分析を当社と同様に行い、客観性・透明性を確保する。

測定データの公表については、国内外のさらなる理解醸成に向け、以下に取り組む。

- 測定・評価の結果がまとめ次第、正確かつタイムリーに当社ウェブサイトにて公表する。
- データの公表にあたっては、地元や国内の消費者の皆さまにもわかりやすい形で公表する。さらに、公表する測定値に対して安全かについても併記・説明する。
- 四半期ごとにモニタリング結果に評価を加えて報告書形式にまとめ、当社ウェブサイト等での公表を計画する。
- 評価では、海洋拡散シミュレーション結果の範囲に収まっているか、放射線影響評価に用いた濃度と同等であるかなどについても確認し、わかりやすく表現する。
- 自治体関係者等および学識経験者の方々に確認・評価いただく場にて報告することも計画する。

9-3-2. 国および福島県によるモニタリング

(1) 従前の国および福島県が実施している海域モニタリング

本項では、総合モニタリング計画における当社以外の実施機関、すなわち国（主に環境省、原子力規制委員会、水産庁）や福島県等が実施する海域モニタリングに関して公開情報を基にまとめたものを記載する。関係省庁は、福島県、研究機関、漁業協同組合等と連携して、事故直後からモニタリングを開始しその結果を公表⁵⁹してきており、モニタリングの内容、測定箇所等を、適時見直し、結果を公表してきている⁶⁰。表 9-10 に当社以外の実施機関による海域モニタリングの内容を示す⁶¹。従前は、海水、海底土および海洋生物を対象に、

- ① 福島第一原子力発電所の近傍海域（2号機排気筒と3号機排気筒の中間地点から概ね3km以内）
- ② 沿岸海域（青森県（一部）、岩手県から宮城県、福島県、茨城県の海岸線から概ね30km以内（河口域を含み、近傍海域を除く））
- ③ 沖合海域（海岸線から概ね30～90kmの海域）
- ④ 外洋海域（海岸線から概ね90km以遠（最大300km程度）の海域）
- ⑤ 東京湾（福島第一原子力発電所から200km程度離れた湾）

において、海域モニタリングを実施している。

表 9-10 当社以外の実施機関による従前の海域モニタリング

a. 海水

実施機関	測定地点	測定核種	測定頻度（地点・核種によって異なる）
国（主に原子力規制委員会および環境省）	近傍海域、沿岸海域、沖合海域、外洋海域、東京湾	Cs-134/137、Sr-90、トリチウム	月に1回～年に1回
福島県	近傍海域、沿岸海域	Cs-134/137、Sr-90、トリチウム、Pu-238/239+240	月に1回
（参考）東京電力 HD	近傍海域、沿岸海域	Cs-134/137、Sr-90、トリチウム、Pu-238/239+240	毎日～半年に1回

⁵⁹ 放射線モニタリング情報

<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/>

⁶⁰ 総合モニタリング計画

<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/511/list-1.html>

⁶¹ 環境大臣が議長を務めるモニタリング調整会議にて策定される総合モニタリング計画の別紙資料

https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/16000/15812/24/204_01_20210401r.pdf

b. 海底土

実施機関	測定地点	測定核種	測定頻度（地点・核種によって異なる）
国（主に原子力規制委員会および環境省）	沿岸海域、沖合海域、東京湾	Cs-134/137	月に1回～年に1回
福島県	近傍海域、沿岸海域	Cs-134/137、Sr-90、Pu-238/239+240	月に1回～半年に1回
（参考）東京電力 HD	近傍海域、沿岸海域	Cs-134/137、Sr-90、Pu-238/239+240	月に1回～半年に1回

c. 海洋生物

実施機関	測定地点	測定核種	測定頻度（地点・核種によって異なる）
国（水産庁および環境省）	沿岸海域、沖合海域、外洋海域	Cs-134/137	週に1回～3、4か月に1回
（参考）東京電力 HD	沿岸海域	Cs-134/137	月に1回

(2) 国が ALPS 処理水の海洋放出を受けて強化・拡充する海域モニタリング

2021年4月に公表された国の基本方針を受けて、今後の海域モニタリングについては、原子力規制庁、環境省などの関係省庁が参加するモニタリング調整会議の下に設置された海域環境の監視測定タスクフォースおよび環境省に設置された ALPS 処理水に係る海域モニタリング専門家会議において議論がなされ、2022年3月に開催されたモニタリング調整会議において、総合モニタリング計画が改定された。当社の放出計画や、本報告書の内容を踏まえて、放出口から10km以内の範囲は多めに測点を設定するなど、ALPS 処理水の放出前後において以下のような海域モニタリングの強化・拡充を行う方向で検討がなされている⁶²。その計画を以下に示す。

a. 海水

- ① 放出の前後の海域のトリチウム濃度の変動を把握するためのモニタリングを実施。
 - ・放出口から10km程度離れると、放出前との区別がほとんどつかなくなると考えられる（東京電力が行った拡散シミュレーションでは、日により30km程度離れた地点でも微小な変動の可能性もあることも参考）。
 - ・放出口から10km以内の範囲は多めに測点を設定。

⁶² 国による海域モニタリングの強化・拡充に関しては、モニタリング調整会議（2022年3月30日）資料1 <http://www.env.go.jp/water/shorisui/monitoring/014/mat01.pdf>

- ・念のため、30km、50km 程度離れた測点、宮城県沖南部、茨城県沖北部でも実施。
 - ・近傍の海水浴場でも実施。
- ② 新たな追加点の測定頻度は、年 4 回（季節的な変化を考慮）を基本とする。放出直後は、検出下限値を上げた速報値を含め測定の頻度を高くする。
- ③ 主要 7 核種（Cs-134、Cs-137、Co-60、Ru-106、Sb-125、Sr-90、I-129）についても念のため一部の測点で年 4 回測定を実施。加えて、さらに幅広い関連核種⁶³について年 1 回実施。

表 9-11 に、2022 年度の海水に関するモニタリング計画を示す。

表 9-11 強化・拡充された海水に関する国の海域モニタリング計画

対象核種	採取ポイント	採取深度 ^{*1}	分析頻度	検出下限目標値	分析方法
トリチウム	放出口近傍（放出口から 300m 程度）	表層・底層	年 4 回	0.1Bq/L ^{*3}	電解濃縮法
	放出口から 1km～10km	表層・底層	年 4 回	0.1Bq/L ^{*3}	電解濃縮法
	放出口から 30km～50km 程度、宮城県沖南部、茨城県沖北部	表層・底層 ^{*2}	年 4 回	0.1Bq/L ^{*3}	電解濃縮法
	海水浴場（南北 2 箇所ずつ、開設状況を踏まえて選定）	表層	年 2 回（シーズン前、シーズン中）	0.1Bq/L ^{*3}	電解濃縮法
主要 7 核種	漁業権設定区域との境界（北側、南側、東側）3 地点	表層・底層	年 4 回	基本的に放射能測定法シリーズに準じる（Cs-134、Cs-137 および Sr-90 の検出下限値は 0.001Bq/L とする）	
その他関連核種（ALPS 除去対象 62 核種および C-14 を基本とする）	漁業権設定区域との境界（北側、南側、東側）3 地点	表層・底層	年 1 回	基本的に放射能測定法シリーズに準じる（Cs-134、Cs-137 および Sr-90 の検出下限値は 0.001Bq/L とする）	

*1：表層：海面～2m 程度、底層：水深に応じて海底から 2m～5m 又は 10m～40m 程度

*2：別図青星および緑丸で表した測点のうち 50km 以遠のものにおいては表層のみ

*3：この検出下限目標値を基に、原子力規制委員会がこれまで業務委託して海水を測定した実績では、概ね 0.05Bq/L 程度（具体的には 0.02-0.07Bq/L）の検出下限値が得られている。

b. 水生生物

- ① 漁業権設定区域との境界付近で水生生物中のトリチウム（組織自由水型、有機結合型）のモニタリングを実施。

⁶³ C-14 および ALPS による除去対象 62 核種を基本とする。

② その他、魚類の C-14、海藻類の I-129 についても、①と同じポイントでモニタリングを実施。

表 9-12、図 9-9 および図 9-10 に、2022 年度の水生生物に関する海域モニタリング計画を示す。

表 9-12 強化・拡充された水生生物に関する国の海域モニタリング計画

対象核種	採取ポイント	対象生物	分析頻度	検出下限目標値	分析方法
トリチウム ^{*1}	漁業権設定区域との境界 (北側、南側、東側) 3 地点	魚類 (底生魚)	年 4 回	FWT: 0.1Bq/L ^{*2} OBT: 0.5Bq/L	FWT: 電解濃縮法 OBT: 蒸留法
I-129	漁業権設定区域との境界 (北側、南側、東側) 3 地点	海藻類	年 4 回	0.1Bq/kg (生)	ICP-MS
C-14	漁業権設定区域との境界 (北側、南側、東側) 3 地点	魚類 (底生魚)	年 4 回	2Bq/kg (生)	放射能測定法シリーズに準じる (β線分析)

*1 : 水生生物試料を凍結乾燥又は燃焼し回収される水に含まれるトリチウム濃度を測定

*2 : 可能な限り 0.05Bq/L まで計測することを目指す

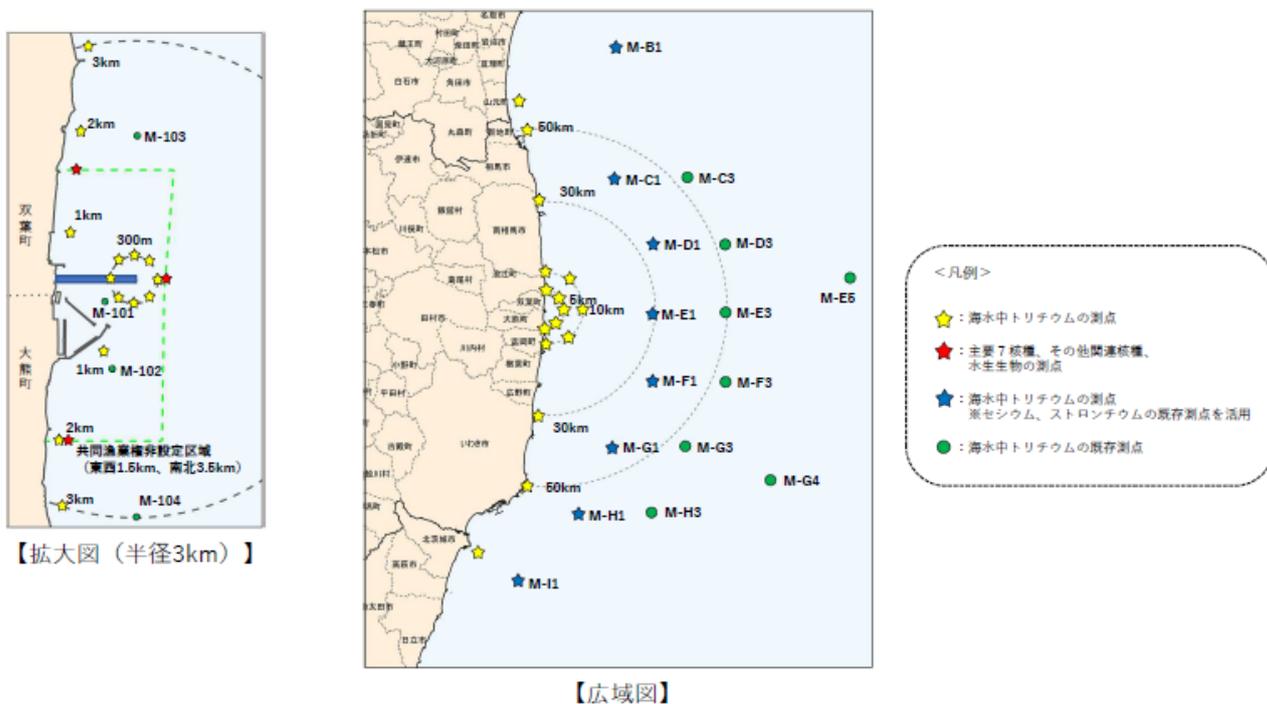
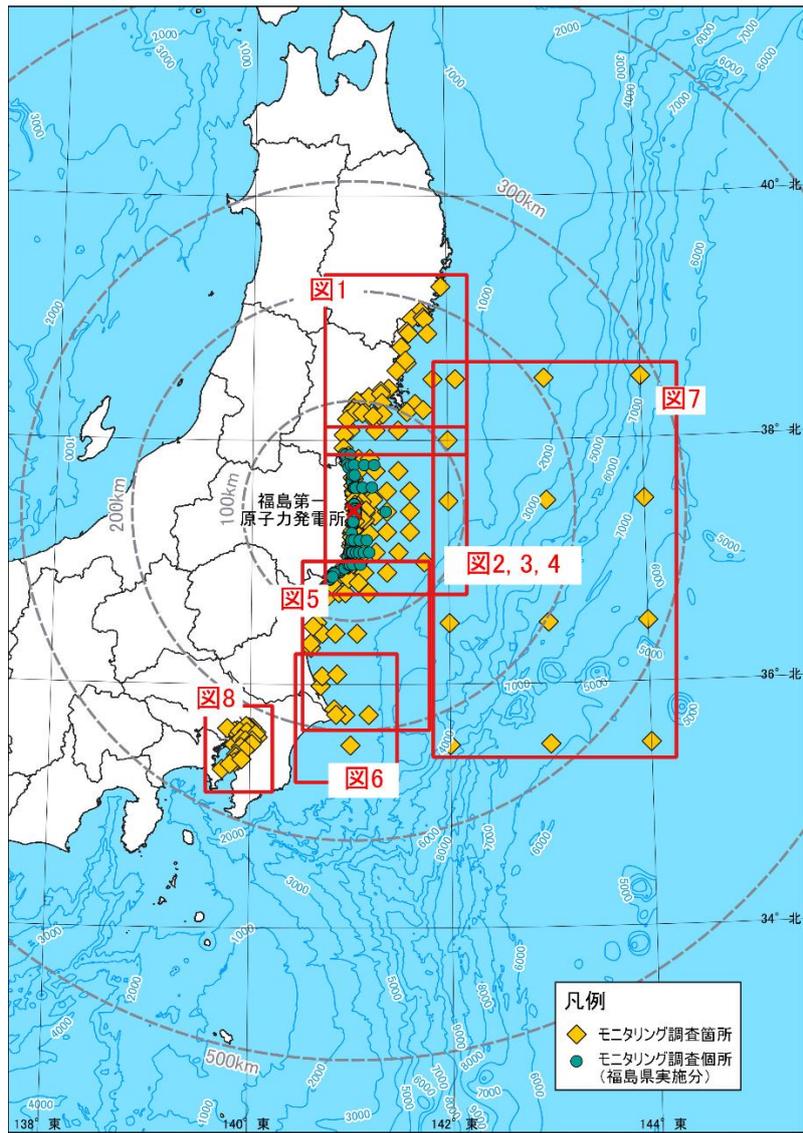


図 9-9 強化・拡充された国の海域モニタリング測点図



(3) 福島県が ALPS 処理水の海洋放出を受けて強化・拡充する海水モニタリング

福島県は、ALPS 処理水の海洋放出を受けて、当社報告書の移流・拡散シミュレーションの評価を踏まえ、現状の周辺海域の海水に含まれるトリチウム濃度（0.1～1 Bq/L）よりも濃度が高くなると評価された範囲において、表 9-13 のとおり、北、東、南方向に各 1 地点追加し、福島第一原子力発電所周辺の既存 6 地点を合わせた計 9 地点で面的に海水に関するモニタリングを実施することを予定している。その測定地点を図 9-11 に示す⁶⁴。

表 9-13 福島県による ALPS 処理水に係る海水モニタリング（2022 年度）

採取ポイント	採取深度	分析頻度	測定項目	検出下限 目標値	分析方法
福島第一原子力発電所近傍既存地点（6 地点）	表層	年 12 回	γ核種 トリチウム 全β Sr-90	約 0.001～0.002Bq/L (Cs-134/137) 約 0.3～0.5Bq/L 約 0.01Bq/L 約 0.0005Bq/L	放射能測定法 シリーズに基づく
追加地点（3 地点）		年 4 回 (放出前) 年 12 回 (放出後)	Pu- 238/239+240	約 0.000003～ 0.00001Bq/L	

なお、ALPS 処理水の海洋放出にかかわらない、その他海水モニタリングとして、福島県が実施する予定のモニタリングは表 9-14 のとおりである。

表 9-14 その他海水モニタリング（2022 年度）

調査の種類	場所	地点数	核種、頻度						
			γ線放出核種	トリチウム	全β放射能	Sr-90	Pu-238	Pu-239+240	
原子力発電所 周辺監視調査	福島第一 近傍	9 地点	既存地点 年 12 回 追加地点 放出前 年 4 回 放出後 年 12 回						
	福島第二 近傍	2 地点	年 4 回			年 1 回			
	比較地点	1 地点	年 1 回						
港湾・海面漁 場調査	重要港湾	3 地点	年 12 回 (Cs-134, Cs-137)	-	-	-	-	-	
	漁港	13 地点		-	-	-	-	-	
	浅海漁場	7 地点		年 12 回 (6 地点)			-	-	-
水浴場調査	海水浴場	13 地点	年 2 回 (Cs-134, Cs-137)	年 2 回 (7 地点)			-	-	-
公共用水域調 査	海域	15 地点 (表 層、下層)	-	年 2 回	-	-	-	-	

⁶⁴ 福島県原子力発電所の廃炉に関する安全監視協議会 第 35 回環境モニタリング評価部会 資料 3-1 (審議後修正)

<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/507135.pdf>

調査の種類	場所	地点数	核種、頻度					
			γ線放出核種	トリチウム	全β放射能	Sr-90	Pu-238	Pu-239+240
地下水パイパス水放出に伴う海水モニタリング	福島第一南放水口付近	1地点	年4回 (Cs-134, Cs-137)	年4回	-	-	-	-
サブドレン・地下水ドレン処理済み水放出に伴う海水モニタリング	福島第一北放水口付近	1地点	年4回 (Cs-134, Cs-137)	年4回	-	-	-	-

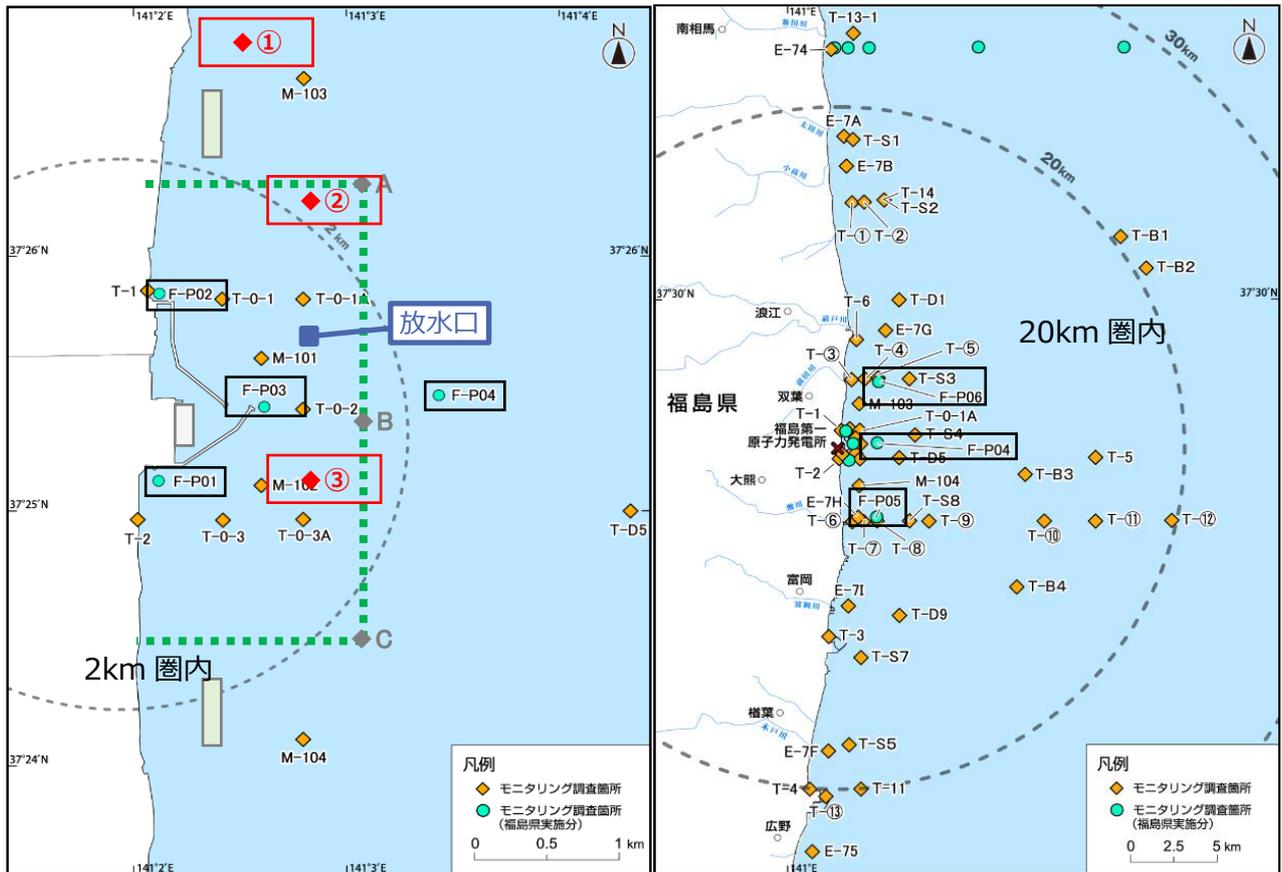


図 9-11 福島県が実施する ALPS 処理水に係る海水モニタリングの調査地点

(4) 国が実施する海域モニタリングに係る IAEA との協力、IAEA 海洋モニタリング

国は、国が実施する海域モニタリングに参加する日本の分析機関のモニタリング実施手法の適切性および分析能力について、IAEA から客観的な評価を得る目的で、IAEA 海洋モニタリングを 2014 年から実施している。

IAEA 海洋モニタリングでは、IAEA および場合によっては第三国の分析機関の立ち会いのもと、福島第一原子力発電所沖で海水、海底土、福島県内で水揚げされた水産物の試料を採取し、それぞれの分析機関に分割送付され、個別に分析を行い、結果を比較する分析機関間比較（Interlaboratory Comparison : ILC）を実施している。なお、2021 年 8 月に公表された 2017 年から 2020 年の ILC に関する報告書⁶⁵では、「日本の試料採取手順が、代表的な試料を採取するために必要な、適切で標準的な採取手法に従っている」、また、「海域モニタリング計画の一環で海洋試料中の放射性核種の分析に参加する日本の分析機関が、引き続き高い正確性と能力を有することを示している。」と評価されている。IAEA 海洋モニタリングは、今後も引き続き実施される予定である。

⁶⁵ IAEA 海洋モニタリング分析機関間比較（ILC）2017-2020 総括報告書
<https://www.iaea.org/sites/default/files/21/07/preliminary-report-2021-interlaboratory-comparison-2017-2020-determination-of-radionuclides-in-seawater-sediment-and-fish.pdf>

9-4. 異常時の措置

9-3.に記載する海域モニタリングにより、海洋拡散シミュレーション結果や放射線影響評価に用いた濃度などとの比較検討を行い、想定している範囲内にあることを確認する。平常値の変動範囲を超えた場合には、他のモニタリング実施機関の結果も確認して、原因について調査を行う。万が一、平常値の変動範囲を大きく超えるような事象が確認されるような場合には、いったん海洋放出を停止し、当該地点の再測定のほか、暫定的に範囲・頻度を拡充して周辺海域に異常がないことを確認する。

このため、2022年4月から海域モニタリングの分析結果を蓄積し、海洋への放出前の平常値として把握していく。

9-5. モニタリングに関するまとめ

上記のとおり、当社、国、福島県において、海域モニタリングの取り組みが進められている中、ALPS 処理水の放出前後で、海域モニタリングが強化・拡充される。万が一、今後、強化・拡充された海域モニタリングにおいて、異常値が検出された場合には、当社は安全に放出できる状況を確認できるまでの間、確実に放出を停止することとする。

10. まとめ

福島第一原子力発電所において計画中の ALPS 処理水の海洋放出について、現時点（設計段階）の情報を基に、人および環境に対する被ばく評価を行った。

原子力発電所の一般公衆に対する線量目標値 0.05mSv/年を線量拘束値に相当するものとし、複数のソースタームと複数の食品摂取量を設定して計算を行った結果、2021 年 4 月の国の基本方針に基づく最適化によって、設定した代表的個人に対しては年間の被ばく量は $3\text{E}-05\sim 4\text{E}-04$ mSv/年と、ICRP 勧告に示されている一般公衆の線量限度 1mSv/年はもとより、原子力規制委員会に線量拘束値に相当するとされた国内の原子力発電所に対する線量目標値 0.05mSv/年も大きく下回った。

また、環境に対する影響でも、人に対する評価と同様の複数のソースタームを設定して計算を行った結果、ICRP 勧告に基づき設定した標準動植物に対しては $2\text{E}-05\sim 6\text{E}-05$ mGy/日と、標準動植物の種類ごとに ICRP 勧告に示されている誘導考慮参考レベル（DCRL）である扁平魚と褐藻の $1\sim 10\text{mGy/日}$ およびカニに対する $10\sim 100\text{mGy/日}$ を大きく下回った。

本評価結果の不確かさについては、8 章に示した。

今後、測定対象核種の厳密な選定を含む設計・運用に関する検討の進捗、さらに IAEA の専門家によるレビューを通じて得られた知見、第三者によるクロスチェックなども行いつつ、各方面からいただいた意見を適切に反映することにより、必要に応じて処分に係るリスクをさらに最適化していく。それに応じて、今後も本報告書の評価を適宜見直していく計画である。

参照文献

- [1] International Atomic Energy Agency, IAEA Safety Standards Series No.GSG-9 "Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment", 2018.
- [2] International Atomic Energy Agency, IAEA Safety Standards Series No.GSG-10 "Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities", IAEA, 2018.
- [3] International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, 1990.
- [4] D.Tsumune, T.Tsubono, K.Misumi, Y.Tateda, Y.Toyoda, Y.Onda, and M.Aoyama, "Impacts of direct release and river discharge on oceanic ¹³⁷Cs derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident", 2020.
- [5] 原子力安全委員会, 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, 1989.
- [6] 厚生労働省, 令和元年国民健康・栄養調査報告, 2020.
- [7] 廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議, 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, 2019.
- [8] トリチウム水タスクフォース, トリチウム水タスクフォース報告書, 2016.
- [9] 多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会, 多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会報告書, 2020.
- [10] 廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議, 東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分にに関する基本方針, 2021.
- [11] 東京電力ホールディングス株式会社, 多核種除去設備等処理水の処分にに関する政府の基本方針を踏まえた当社の対応について, 2021.
- [12] 原子力規制庁, 放射線影響評価の確認における考え方及び評価の目安, 原子力規制庁, 2022.
- [13] International Atomic Energy Agency, General Safety Requirements Part 3, No. GSR Part 3, "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards", International Atomic Energy Agency, 2014.
- [14] L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Tritium and the environment, 2012.
- [15] 東京電力ホールディングス株式会社, 福島第一原子力発電所多核種除去設備等処理水の二次処理性能確認試験結果(終報), 2020.
- [16] International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 107, "Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations", 2008.
- [17] 東京電力ホールディングス株式会社, 多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会報告書を受けた当社の検討素案について, 2020.
- [18] W. C. Skamarock, J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. Duda, H. Huang, W. Wang, J. G. Powers, A description of the advanced research WRF version 3, NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113pp, 2008.

- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 財団法人 電力中央研究所, 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 (第 3 次版), 2007.
- [22] 日本原燃サービス株式会社, 六力所事業所再処理事業指定申請書, 1989.
- [23] International Atomic Energy Agency, Determining the Suitability of Materials for Disposal at Sea under the London Convention 1972 and London Protocol 1996: A Radiological Assessment Procedure, 2015.
- [24] International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No.422 "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment", 2004.
- [25] Stanley E. Thompson, C. Ann Burton, Dorothy J. Quinn, Yook C. Ng, CONCENTRATION FACTORS OF CHEMICAL ELEMENTS IN EDIBLE AQUATIC ORGANISMS, LAWRENCE LIVERMORE LABORATORY, 1972.
- [26] 原子力委員会決定, 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針, 1976.
- [27] International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 101a, "Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public", 2006.
- [28] International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 124, "Protection of the Environment under Different Exposure Situations", 2013.
- [29] International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 136, "Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation, 2017.
- [30] International Commission on Radiological Protection, "BiotaDC v.1.5.1," 2017. [オンライン]. Available: <http://biotadc.icrp.org/>.
- [31] International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 114, "Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants", 2019.
- [32] 環境庁, 第 4 回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書 (干潟、藻場、サンゴ礁調査), 1994.
- [33] 文化庁, 天然記念物緊急調査、植生図・主要動植物地図、福島県, 1971.
- [34] 原子力規制委員会, 核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示, 2015.

用語集

用語	説明
多核種除去設備 (ALPS)	汚染水に含まれるトリチウム以外の 62 種類の放射性物質を、法令に定められた基準を満たすレベルまで浄化できる水処理設備 (Advanced Liquid Processing System)。
ALPS 処理水	トリチウム以外の放射性物質が、安全に関する規制基準値を確実に下回るまで、多核種除去設備等で浄化処理した水 (トリチウムを除く告示濃度比総和 1 未満)。
処理途上水	多核種除去設備等で浄化処理した水のうち、安全に関する規制基準値 (トリチウムを除く告示濃度比総和 1 未満) を満たしていない水。
ALPS 処理水等	ALPS 処理水と処理途上水の総称。
ストロンチウム処理水 (ALPS 処理前水)	汚染水から、セシウムとストロンチウムの大半を取り除いた ALPS 処理前の水。
二次処理	トリチウム以外の放射性物質が、告示濃度比総和 1 未満まで浄化されていない処理途上水を、再度多核種除去設備等で浄化処理を行うこと。
地下水バイパス	山側から海側に流れている地下水を、原子炉建屋等から離れた場所にある井戸から汲み上げ、排水基準を満たしていることを確認後に、海洋へ排水することで、原子炉建屋等に近づく地下水の量を減少させる施策。
サブドレン	地下水が原子炉建屋等に流れ込むことで増加する汚染水の量を減らすため、サブドレン (建屋近傍の井戸) で汲み上げて浄化処理を行い、排水基準を満たしていることを確認後に海洋に排水する施策。
告示濃度限度	「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に定められた、放射性廃棄物を環境中へ放出する際の基準。当該放射性廃棄物が複数の放射性物質を含む場合は、告示濃度比総和が 1 未満となる必要がある。
放出管理値	原子力発電所が年間に放出する放射性物質の量を管理するために、放出する核種ごとに設ける管理目標値。福島第一では、事故前のトリチウムの放出管理値として 22 兆 Bq (2.2E+13Bq) を定めていた。
運用管理値	ALPS 処理水を処分する際に、被ばくへの影響が大きいと考えられる 8 核種について、被ばく低減の観点から当社が独自に定める濃度限度値。これを超える濃度が検出された場合は放出を中止して貯留タンクに移送する。
世界保健機関 (WHO) 飲料水水質ガイドライン	飲料水の安全性確保のため、世界保健機関が定めた飲料水の水質に関するガイドライン。放射性物質の他、微生物、化学物質等の観点から、飲み続けても問題のない水質が示されている。放射性物質濃度としては、Cs-137 で 10Bq/L、トリチウムで 10,000Bq/L といった値が示されている。
国際放射線防護委員会 (ICRP) 勧告	ICRP が勧告する放射線防護の基本的な考え方 (概念) と基本となる数値的基準を示した文書。
国際原子力機関 (IAEA) 安全基準文書	IAEA が、原子力安全確保に係る活動として、放射線や放射性物質の利用に際して、人の健康や生命、財産等の安全を守るための基準を示した文書。安全原則、安全要件、安全指針等からなり、守るべき考え方や基準等が示されている。IAEA 安全基準文書は、全 IAEA 加盟国のコメントを踏まえて作成されている。

用語	説明
代表的個人	放射線防護の検討のために行う一般公衆の被ばく評価において、被ばくを受ける対象者として設定する仮想の個人。被ばく量が多くなるような環境、生活習慣等を考慮する。
潜在被ばく	確実に起こるとは予想されないが、予想される運転上の出来事、あるいは、線源の事故または機器の故障や操作ミスを含めた確率的な性質の事象または事象シーケンスによる、将来を見越して考慮した被ばく。放射線防護の検討に用いる。
日常的に漁業が行われていないエリア	漁業協同組合の組合員が一定の水域を共同を利用して漁業を営む権利（共同漁業権）が設定されていない区域。共同漁業権非設定区域。
領域海洋モデル	米国ラトガース大学で開発された海流の数値解析モデル。
サブマージョンモデル	人が周囲を放射性物質に囲まれた状態（サブマージョン）を仮定した外部被ばく線量計算モデル。
濃縮係数	海洋生物（原則可食部）中の放射性核種濃度（湿重量あたり）を、生息している環境海水中放射性核種濃度に対する関係を示す便宜的な係数で、生物への移行評価モデルで用いられる。
実効線量換算係数	放射性物質からの放射線により、人が受ける被ばく量を評価するための換算係数。
実効線量係数	放射性核種の吸入量や摂取量から、人が受ける内部被ばく線量を評価するための換算係数。
環境防護	人以外の生物を電離放射線による有害な影響から守ること。
標準動植物	環境からの放射線被ばくを、線量と影響に関連づけるために想定する、特定タイプの動植物。
動植物に関する線量換算係数	環境の放射性核種による、生物の内部被ばく線量と外部被ばく線量を簡略化して計算するための換算係数。
誘導考慮参考レベル（DCRL）	ICRP が提唱する生物種ごとに定められた 1 桁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（Derived consideration reference level）。
濃度比	動植物に対する環境からの放射線被ばくへの利用を目的に、水棲生物中放射性核種濃度（全体）の、環境水中濃度に対する比率を、経験的に求めた移行係数。
分配係数	放射性物質について、海水中の濃度（Bq/L）と、海底の堆積物中の濃度（Bq/kg）が平衡状態にある時の比率。海水から海底の堆積物への、放射性物質の移行評価に使用する。

作成メンバー

本報告書のとりまとめにあたっては、社内より放射線影響評価について知見を有する職員を選定・配置するとともに、放射線影響評価を行う上で特に重要な分野である、人の放射線防護、環境防護、海洋拡散計算の3分野について、社外より専門家をメンバーとして招聘した。

・スポンサー

松本 純一（東京電力ホールディングス株式会社）

・評価メンバー

チームリーダー：岡村 知巳（東京電力ホールディングス株式会社）

チームメンバー：清岡 英男（東京電力ホールディングス株式会社）

一場 雄太（東京電力ホールディングス株式会社）

田口 涼太（東京電力ホールディングス株式会社）

占部 逸正（福山大学名誉教授，環境影響評価）

立田 穰（電力中央研究所サステナブルシステム研究本部客員研究員，
海生動植物被ばく評価）

服部 隆利（電力中央研究所サステナブルシステム研究本部研究参事，
人の被ばく評価）

升本 順夫（東京大学教授，拡散計算）

津旨 大輔（電力中央研究所サステナブルシステム研究本部副研究参事，
拡散計算）

・オブザーバー

小山 正史（電力中央研究所首席研究員）

・事務局

佐藤 学（東京電力ホールディングス株式会社）

松崎 勝久（東京電力ホールディングス株式会社）

以上