

測定・評価対象核種の見直しによる、 放射線環境影響評価（建設段階*）の再評価結果について

2023年2月17日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

* 本報告書の評価は、海洋放出に係る計画の設計・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の拡充により、適宜見直していくものである。

概要

- 2022年4月に「ALPS処理水の海洋放出に係る放射線影響評価結果（設計段階・改訂版）」公表後、当社における検討・工事の進捗や、IAEAのレビューならびに原子力規制委員会との議論等を踏まえて、2022年11月に評価を一部見直し
- 2022年11月の評価では、ALPS処理水海洋放出時の測定・評価対象核種として30核種を選定したことを踏まえ、ソースタームの見直しを実施
- その後の原子力規制庁の技術会合での議論を踏まえ、測定・評価対象核種の選定の考え方の一部が変更となり、測定・評価対象核種を29核種としたため、再評価を行った。なお、29核種への変更はIAEAのレビューも受けている。
(測定・評価対象核種の選定の考え方の詳細については、「ALPS処理水の取扱いに関する実施計画変更認可申請書の一部補正【概要】」参照。)
- また、今回の評価では、測定・評価対象核種の選定において事故後12年となる2023年3月時点のインベントリを用いたことを踏まえ、2023年3月時点の濃度となるようにソースタームの核種組成の減衰補正を行った
- 併せて、2022年11月のIAEAレビュー時指摘事項についても反映を行った
- 放射線環境影響評価に関し、線量評価値が一般公衆の線量限度や線量拘束値、国際機関が提唱する生物種ごとに定められた値を大幅に下回る、との結論は変わらない
 - 人に対する線量評価値は、設計段階の評価と比較し1/40～1/2程度
 - 環境に対する線量評価値は、設計段階の評価と比較し1/100～1/30程度

本評価について

- 政府の「基本方針」を踏まえ、当社が検討した設備設計および運用に則り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、国際的に認知された手法（国際原子力機関（IAEA）安全基準文書、国際放射線防護委員会（ICRP）勧告）に従って評価する手法を定めました。
- それに従って被ばく線量を評価すると、線量限度や線量目標値、また国際機関が提唱する生物種ごとに定められた値を大幅に下回る結果となり、人および環境への影響は極めて軽微であることが示されました。
- 今後、原子力規制委員会による実施計画の認可取得に向けて必要な手続きを行うとともに、海洋放出を開始した後であっても、IAEAの専門家等のレビュー、各方面からの意見やレビュー等を通じて、必要に応じて評価を見直していきます。
- また、国内外の方々の懸念払拭ならびに理解醸成に向けて、人および環境への放射線の影響に関する科学的情報を、透明性高く継続的に発信していきます。

東京電力は、一般の方々や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その他の放射性物質の濃度について、国際標準（IAEA安全基準文書やICRP勧告）に準拠した国の規制基準や各種法令等を確実に遵守します。

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

評価の前提となる放出方法

- 放出前にALPS処理水海洋放出時の測定・評価対象29核種およびトリチウムを測定・評価（第三者機関による測定・評価を含む）し、トリチウム以外の核種の告示濃度比総和*が1未満まで浄化されていることを確認する。
- トリチウムの年間放出量は事故前の福島第一原子力発電所の放出管理目標値である22兆ベクレル未満とする。
- 放出にあたっては、海水により100倍以上に希釈し、排出口でのトリチウム濃度を1,500ベクレル/ℓ(Bq/L)未満とする。これにより、トリチウム以外の核種の告示濃度比総和も100分の1未満に希釈される。
- 希釈後のALPS処理水は、放出水が希釈用の海水として再取水されにくくするため、発電所沖合約1kmの海底より放出する。
- ALPS処理水の放出で異常が発生した場合は、緊急遮断弁を速やかに閉じるとともに、ALPS処理水の移送ポンプを停止して放出を停止する。

* 告示濃度比総和：排水中に複数種の放射性物質が含まれる場合に、各核種の濃度の法令上の限度に対する比を求め、それを合計したもの。福島第一原子力発電所では、排水口にて告示濃度比総和が1を超えてはならないと法令で定められている。今回計画している海洋放出にあたっては、トリチウム以外の放射性物質は、希釈放出前の段階で告示濃度比総和が1未満となるようALPS等により処理を行い、トリチウム濃度は告示濃度(60,000ベクレル/ℓ未満)の40分の1のレベル(1500ベクレル/ℓ)になるまで、100倍以上の海水で希釈する。これにより、トリチウム以外の放射性物質の濃度は、告示濃度をはるかに下回ることになる。

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

放射線環境影響評価の手順

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

人に対する評価

環境防護（人以外の生物）に関する評価

ソースタームの選択

- 処理水の海洋放出により放出される放射性物質の種類と量を定義

ソースタームの選択

- 処理水の海洋放出により放出される放射性物質の種類と量を定義

環境中での直接照射、
拡散・移動のモデリング

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

環境中での拡散・移動
のモデリング

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

被ばく経路の特定

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

被ばく経路の特定

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

代表的個人の選定

- 評価対象とする集団で上記被ばく経路から最も被ばくする人を定義

標準動物・植物の選定

- 評価対象とする種を選定（ICRP文書を基に扁平魚・カニ・褐藻類を選定）

代表的個人に対する
線量の評価

- 代表的個人が受ける線量を評価

標準動物および標準植
物への線量率の評価

- 標準動物および植物が受ける線量率を評価

推定線量と線量拘束値^{*2}
および線量限度との比較

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

推定線量率と誘導考慮
参考レベルとの比較

- 生物種ごとに定められた誘導考慮参考レベルと比較し判定

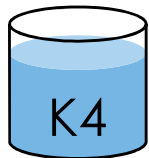
*1 IAEA GSG-9 “Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment”

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

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

ソースターム（放出される放射性物質の種類と量）の選択

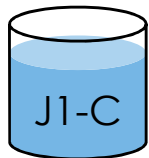
- より現実的な想定とする観点から、実際のALPS処理水のうち、分析・評価対象核種の実測値がほぼ揃っているタンク群3群それぞれの水が、海水で希釈後、放出期間中継続して放出されると仮定。
- 2022年12月の原子力規制庁の技術会合における議論を踏まえて選定した測定・評価対象核種（29核種）に基づき、ソースタームとしてトリチウムを含む30核種を選定した。
- タンク群ごとの測定実績のない核種は、他タンク等のデータを流用して評価。
- これまでに検出されたことがない放射性物質についても、検出下限値で含まれるものと仮定。
- 各タンク群の核種濃度を、事故後12年となる2023年3月時点に半減期補正。



i. K4タンク群

トリチウム濃度：約14万ベクレル/ℓ

トリチウム以外の29核種の告示濃度比総和*：0.26



ii. J1-Cタンク群

トリチウム濃度：約72万ベクレル/ℓ

トリチウム以外の29核種の告示濃度比総和：0.21



iii. J1-Gタンク群

トリチウム濃度：約24万ベクレル/ℓ

トリチウム以外の29核種の告示濃度比総和：0.10

いずれのケースでも、

- 年間のトリチウムの放出量は22兆ベクレルの範囲で放出を行う
- 希釈後のトリチウム濃度が1,500ベクレル/ℓ未満となるように希釈することを前提としています

*告示濃度比総和：排水中に複数種の放射性物質が含まれる場合に、各核種の濃度の法令上の限度に対する比を求め、それを合計したもの。福島第一原子力発電所では、排水口にて告示濃度比総和が1を超えてはならないと法令で定められている。今回計画している海洋放出にあたっては、トリチウム以外の放射性物質は、希釈放出前の段階で告示濃度比総和が1未満となるようALPS等により処理を行い、トリチウム濃度は告示濃度(60,000ベクレル/ℓ未満)の40分の1のレベル(1,500ベクレル/ℓ)になるまで、100倍以上の海水で希釈する。これにより、トリチウム以外の放射性物質の濃度は、告示濃度をはるかに下回ることになる。

【参考】ALPS除去対象核種（62核種）、炭素14との比較

- 2022年7月の認可以降、今回の補正申請までに変更となった核種は以下の通り。
- なお、ALPS除去対象核種のうち、測定・評価対象核種に選定されなかった核種についても、ALPSの除去性能の確認のため、継続して当社が自主的に測定を実施。

測定・評価対象核種：29核種（=24+5）

※：下表の核種の他、トリチウムも測定

C-14 炭素	Y-90 イットリウム	Cs-137 セシウム	U-238 ウラン	Cm-244 カリウム
Mn-54 マンガン	Tc-99 テクネチウム	Ce-144 セリウム	Np-237 ネプツニウム	
Fe-55 鉄	Ru-106 ルテニウム	Pm-147 プロメチウム	Pu-238 プルトニウム	
Co-60 コバルト	Sb-125 アンチモン	Sm-151 サマリウム	Pu-239 プルトニウム	
Ni-63 ニッケル	Te-125m テルル	Eu-154 イウロピウム	Pu-240 プルトニウム	
Se-79 セレン	I-129 ヨウ素	Eu-155 イウロピウム	Pu-241 プルトニウム	
Sr-90 ストロンチウム	Cs-134 セシウム	U-234 ウラン	Am-241 アメリシウム	

ALPS除去対象核種のうち、測定・評価対象核種から選定外とした核種：39核種（=13+10+16）

Fe-59 鉄	Te-129m テルル	Co-58 コバルト	Te-123m テルル	Zn-65 亜鉛	Ba-137m バリウム	Cm-242 カリウム
Rb-86 ルビジウム	Cs-136 セシウム	Y-91 イットリウム	Te-127 テルル	Rh-106 ロジウム	Pr-144 プロセチウム	Cm-243 カリウム
Sr-89 ストロンチウム	Ba-140 バリウム	Nb-95 ニオブ	Te-127m テルル	Ag-110m 銀	Pr-144m プロセチウム	
Ru-103 ルテニウム	Ce-141 セリウム	Sn-123 スズ	Gd-153 ガドリニウム	Cd-113m カドミウム	Pm-146 プロメチウム	
Rh-103m ロジウム	Pm-148 プロメチウム	Sb-124 アンチモン	Tb-160 テルビウム	Sn-119m スズ	Eu-152 イウロピウム	
Cd-115m カドミウム	Pm-148m プロメチウム			Sn-126 スズ	Am-242m アメリシウム	
Te-129 テルル				Cs-135 セシウム	Am-243 アメリシウム	

□：インベントリ量が減少し、手順1で選定外とした核種（13核種）

□：インベントリ量が減少し、手順3で選定外とした核種（10核種）

□：原子炉等から汚染水への移行状態を実態に合わせて見直した結果、手順4、5で選定外とした核種（16核種）

1 半核い
年減種
未期も
満れ
の

□：選定フローに基づき、念のため追加した核種（5核種）

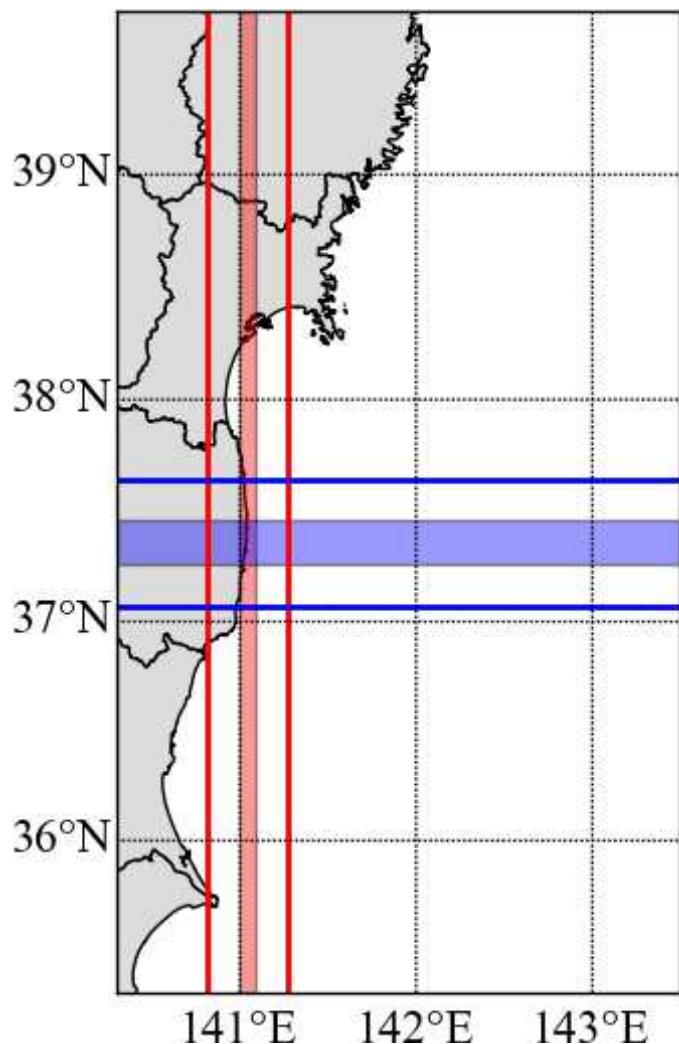
【参考】評価に使用したタンク群の測定・評価対象核種と濃度

- 全核種の濃度を、事故後12年となる2023年3月に半減期補正を行った。

	対象核種	告示濃度限度 ($\text{Bq/L}/\%$)	K 4タンク群によるソースターム		J1-Cタンク群によるソースターム		J1-Gタンク群によるソースターム	
			処理水濃度 ($\text{Bq/L}/\%$)	告示濃度比	処理水濃度 ($\text{Bq/L}/\%$)	告示濃度比	処理水濃度 ($\text{Bq/L}/\%$)	告示濃度比
1	H-3	6.0E+04	1.4E+05		7.2E+05		2.4E+05	
2	C-14	2.0E+03	1.5E+01	7.5E-03	1.8E+01	9.0E-03	1.6E+01	8.0E-03
3	Mn-54	1.0E+03	8.5E-05	8.5E-08	5.3E-03	5.3E-06	5.4E-03	5.4E-06
4	Fe-55	2.0E+03	2.1E+00	1.1E-03	2.4E+00	1.2E-03	2.4E+00	1.2E-03
5	Co-60	2.0E+02	2.2E-01	1.1E-03	2.4E-01	1.2E-03	1.7E-01	8.5E-04
6	Ni-63	6.0E+03	2.1E+00	3.5E-04	8.3E+00	1.4E-03	8.7E+00	1.5E-03
7	Se-79	2.0E+02	1.5E+00	7.5E-03	1.5E+00	7.5E-03	1.5E+00	7.5E-03
8	Sr-90	3.0E+01	1.9E-01	6.3E-03	3.4E-02	1.1E-03	3.0E-02	1.0E-03
9	Y-90	3.0E+02	1.9E-01	6.3E-04	3.4E-02	1.1E-04	3.0E-02	1.0E-04
10	Tc-99	1.0E+03	7.0E-01	7.0E-04	1.2E+00	1.2E-03	1.3E+00	1.3E-03
11	Ru-106	1.0E+02	4.2E-02	4.2E-04	2.7E-01	2.7E-03	9.4E-02	9.4E-04
12	Sb-125	8.0E+02	8.6E-02	1.1E-04	1.2E-01	1.5E-04	7.5E-02	9.4E-05
13	Te-125m	9.0E+02	8.6E-02	9.6E-05	1.2E-01	1.3E-04	7.5E-02	8.3E-05
14	I-129	9.0E+00	2.1E+00	2.3E-01	1.2E+00	1.3E-01	3.3E-01	3.7E-02
15	Cs-134	6.0E+01	7.4E-03	1.2E-04	3.3E-02	5.5E-04	3.0E-02	5.0E-04
16	Cs-137	9.0E+01	3.7E-01	4.1E-03	1.7E-01	1.9E-03	3.1E-01	3.4E-03
17	Ce-144	2.0E+02	5.3E-04	2.7E-06	6.4E-02	3.2E-04	6.5E-02	3.3E-04
18	Pm-147	3.0E+03	4.5E-02	1.5E-05	4.2E-01	1.4E-04	3.8E-01	1.3E-04
19	Sm-151	8.0E+03	8.6E-04	1.1E-07	1.1E-02	1.4E-06	9.8E-03	1.2E-06
20	Eu-154	4.0E+02	7.8E-03	2.0E-05	9.4E-02	2.4E-04	8.4E-02	2.1E-04
21	Eu-155	3.0E+03	1.5E-02	5.0E-06	2.4E-01	8.0E-05	1.2E-01	4.0E-05
22	U-234	2.0E+01	6.3E-04	3.2E-05	3.2E-02	1.6E-03	2.8E-02	1.4E-03
23	U-238	2.0E+01	6.3E-04	3.2E-05	3.2E-02	1.6E-03	2.8E-02	1.4E-03
24	Np-237	9.0E+00	6.3E-04	7.0E-05	3.2E-02	3.6E-03	2.8E-02	3.1E-03
25	Pu-238	4.0E+00	6.0E-04	1.5E-04	3.2E-02	8.0E-03	2.7E-02	6.8E-03
26	Pu-239	4.0E+00	6.3E-04	1.6E-04	3.2E-02	8.0E-03	2.8E-02	7.0E-03
27	Pu-240	4.0E+00	6.3E-04	1.6E-04	3.2E-02	8.0E-03	2.8E-02	7.0E-03
28	Pu-241	2.0E+02	2.2E-02	1.1E-04	1.1E+00	5.5E-03	8.9E-01	4.5E-03
29	Am-241	5.0E+00	6.2E-04	1.2E-04	3.2E-02	6.4E-03	2.8E-02	5.6E-03
30	Cm-244	7.0E+00	5.1E-04	7.3E-05	3.0E-02	4.3E-03	2.6E-02	3.7E-03
			告示濃度比総和	2.6E-01	告示濃度比総和	2.1E-01	告示濃度比総和	1.0E-01

環境中での拡散・移行（海域における拡散計算）

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



- 領域海洋モデル（Regional Ocean Modeling System: ROMS）を福島沖に適用
- 海域の流動データ
 - 海表面の駆動力に気象庁短期気象予測データを内挿したデータ^[1]を使用
 - 外洋の境界条件およびデータ同化*の元データとして、海洋の再解析データ（JCOPE2^[2]）を使用
- モデル範囲：北緯35.30～39.71度、東経140.30～143.50度（490km×270km）、発電所周辺南北約22.5km×東西約8.4kmの海域を段階的に高解像度化
 - 解像度（全体）：南北約925m x 東西約735m（約1km）、鉛直方向30層
 - 解像度（近傍）：南北約185m x 東西約147m（約200m）、鉛直方向30層（左図の赤と青のハッチが交差した海域）
- 気象・海象データ
 - 2014年および2019年の2年分実施

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

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

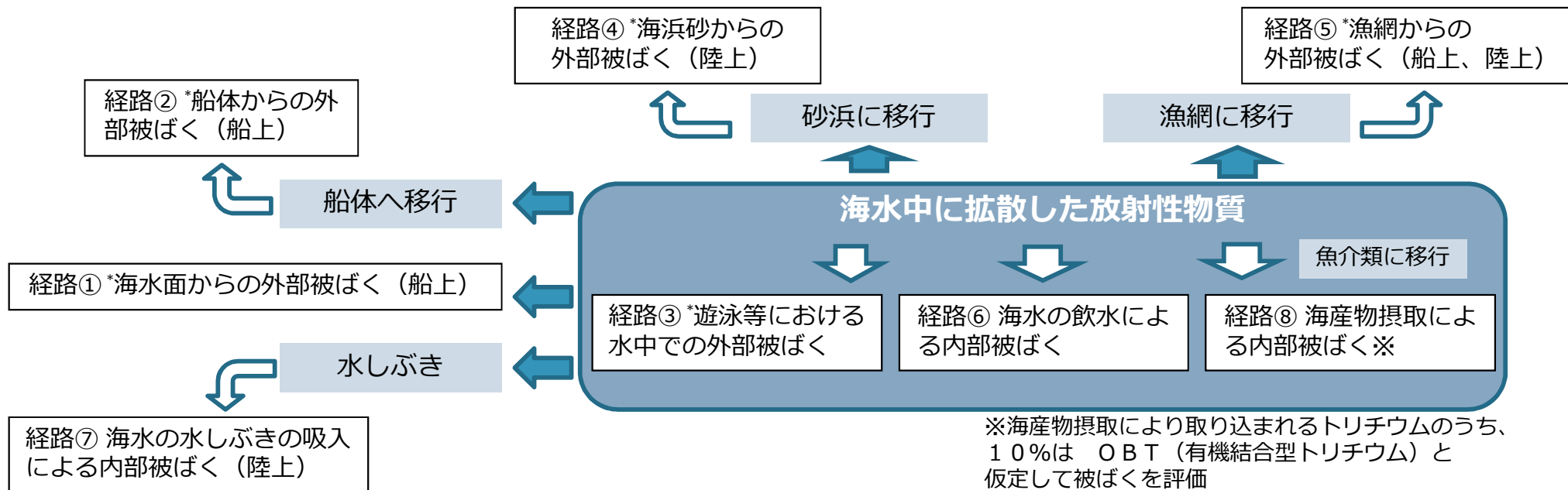
[2] Y.Miyazawa, R.Zhang, X.Guo, H.Tamura, D.Ambe, J.-S.Lee, A.Okuno, H.Yoshinari, T.Setou, and K.Komatsu,, “Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis,” 2009.

被ばく経路の特定（評価モデル）

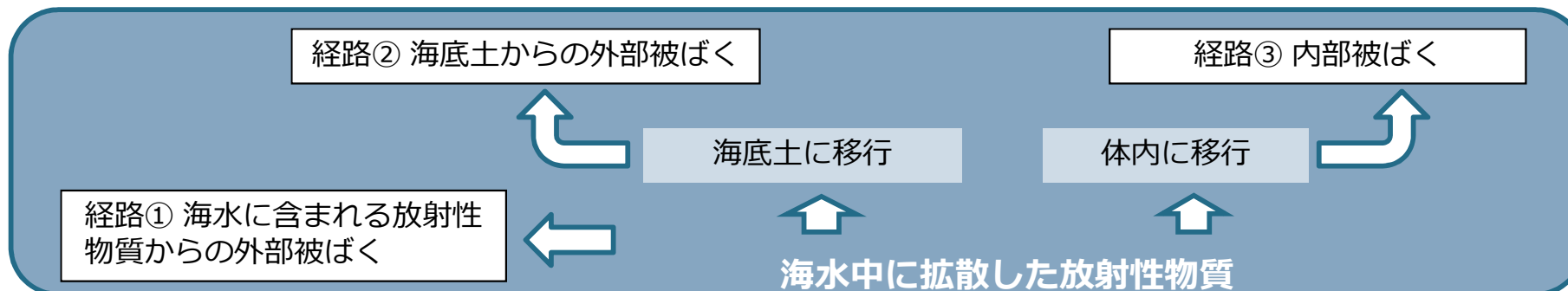
（1）移行経路および被ばく経路（人の被ばく）

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

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



（2）移行経路および被ばく経路（動植物）



環境中での拡散・移行（評価用放射性物質濃度の算出）

- トリチウムを年間を通じて均等に放出し、年間の実気象・海象データを使用して海域のトリチウム濃度を計算。
- 発電所の周辺 10km×10kmの領域で、トリチウムの年間平均濃度を算出。
- 遊泳等における水中からの外部被ばく、海浜砂からの外部被ばく、海水の飲水による内部被ばく、および海水の水しぶきの吸入による内部被ばくについては、砂浜滞在時の被ばくとして評価地点を見直し。
- その他の被ばく経路については、発電所の周辺 10km×10kmの領域で評価を実施。
 - 上層（海水面、船体からの外部被ばく）、全層（漁網からの外部被ばく、海産物摂取による内部被ばく）、下層（動植物の被ばく）のそれぞれを計算。
 - 算出したトリチウム濃度から、放出量の比例計算によりその他63核種の濃度を算出。
- なお、評価対象とする海域の範囲による結果の不確かさについても評価するため、5km×5kmの範囲および20km×10kmの範囲についても被ばく評価を実施（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」に掲載）。

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



*共同漁業権非設定区域

線量評価に使用する 海水濃度の評価地点

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

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

代表的個人および標準動植物の設定

(1) 代表的個人（人の被ばく）

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

表 6-1-13 海産物を平均的に摂取する個人の摂取量 (g/日)

(厚労省・令和元年国民健康・栄養調査 [6]を基に設定)

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

表 6-1-14 海産物を多く摂取する個人の摂取量 (g/日)

(厚労省・令和元年国民健康・栄養調査 [6]を基準に設定)

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

(2) 標準動植物（環境防護）

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

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

*σ：標準偏差

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

代表的個人に対する線量の評価

外部被ばく（経路①②③④⑤）

- 船舶による移動や水中作業時の海水からの放射線による被ばく（経路①③）

被ばく量 = 実効線量換算係数 × 海水中の放射性物質濃度

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

被ばく量 = 実効線量換算係数 × 移行係数 × 海水中の放射性物質濃度

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

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

*2 「六ヶ所事業所再処理事業指定申請書」, 日本原燃サービス株式会社

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

代表的個人に対する線量の評価

内部被ばく（経路⑥⑦⑧）

被ばく量 = 実効線量係数 × 摂取率

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

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

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

- 海産物摂取に関する摂取率（経路⑧）

摂取率 = 海水中の放射性物質濃度 × 濃縮係数 × 海産物年間摂取量

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

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

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

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

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

代表的個人に対する線量の評価

評価基準（外部被ばくと内部被ばくの合算で評価）

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

記載の充実：トリチウム以外の核種の移行、蓄積の評価について（4章）

- トリチウムの年間放出量は、上限値22兆Bqにて評価。
- 7年間の拡散シミュレーション計算で、海洋における移流、拡散の年毎の変動が小さいことを確認。
- 本来時間をかけて進む放射性物質の移行、濃縮は、すぐに平衡状態まで達したものと評価。
 - 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、放出期間を通じてこれ以上高い被ばくとなることはないと考えられる。

標準動植物に対する線量率の評価

動植物

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

内部被ばく量 = 内部線量換算係数 × 海水中の放射性物質濃度 × 濃度比 (経路③)

外部被ばく量 = 0.5 × 外部線量換算係数 × 海水中の放射性物質濃度 (経路①)

+ 0.5 × 外部線量換算係数 × 海水中の放射性物質濃度 × 分配係数 (経路②)

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

評価基準

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

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

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

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

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

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

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

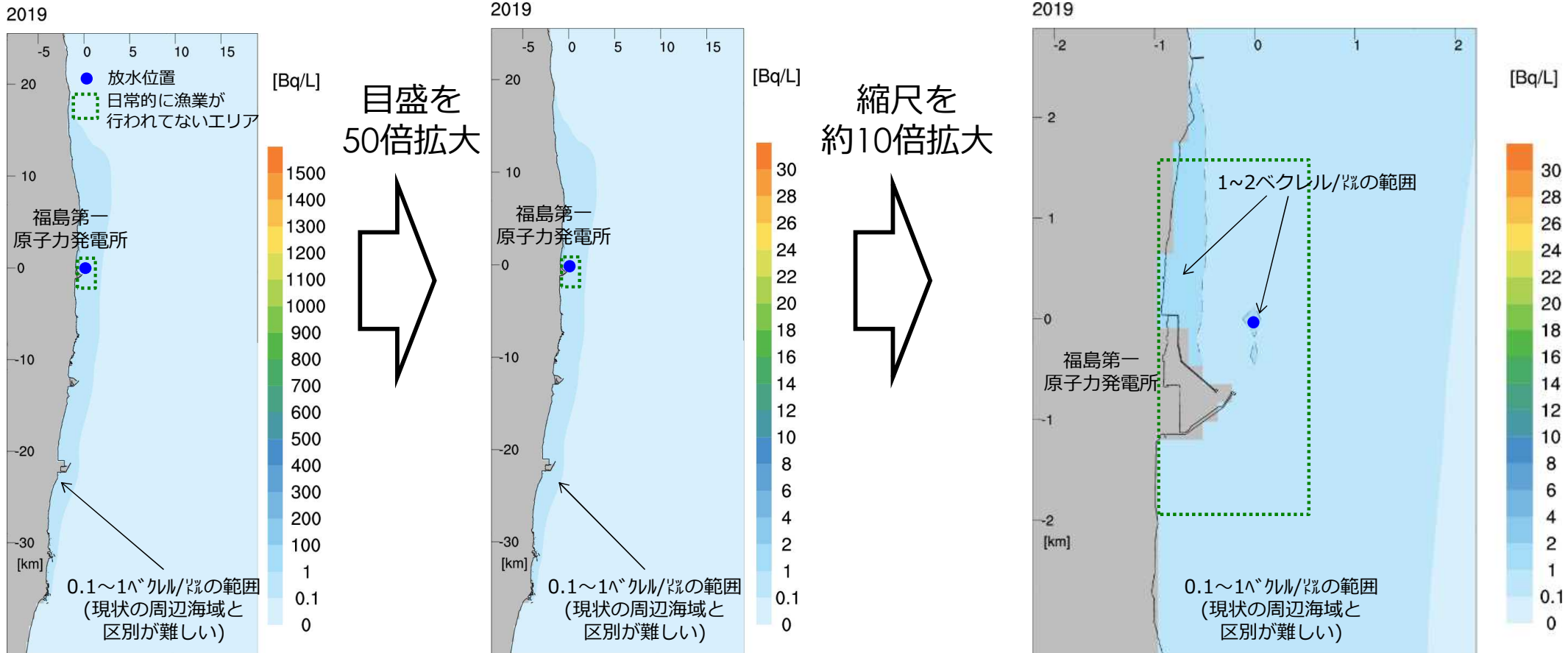
*7 誘導考慮参考レベル (Derived Consideration Reference Level, DCRL) : ICRPが提唱する生物種ごとに定められた1ケタの幅を持った線量率の範囲。これを超える場合には影響を考慮する必要がある線量率レベル。

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

海洋における拡散シミュレーション結果

2019年の気象・海象データを使って評価した結果、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ベクレル/ℓ※）よりも濃度が高くなると評価された範囲（点線の内側の範囲）は、発電所周辺の2～3kmの範囲に留まる。

※WHO飲料水ガイドライン10,000ベクレル/ℓの10万分の1～1万分の1



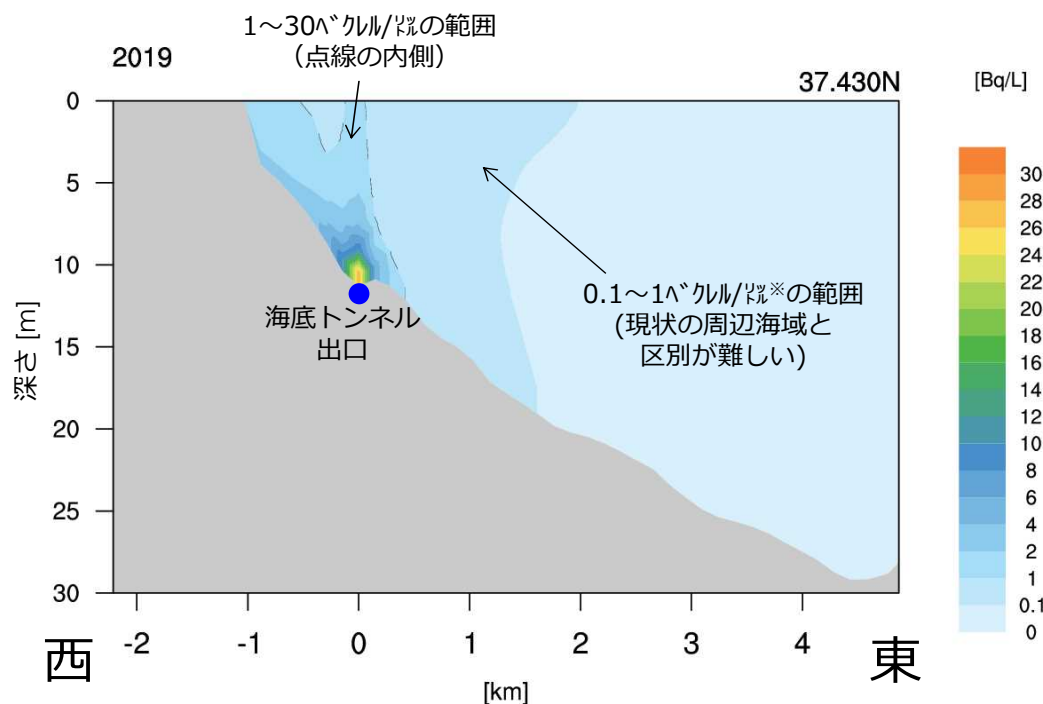
福島県沖拡大図
(最大目盛30ベクレル/ℓにて作図)

発電所周辺拡大図
(最大目盛30ベクレル/ℓにて作図)

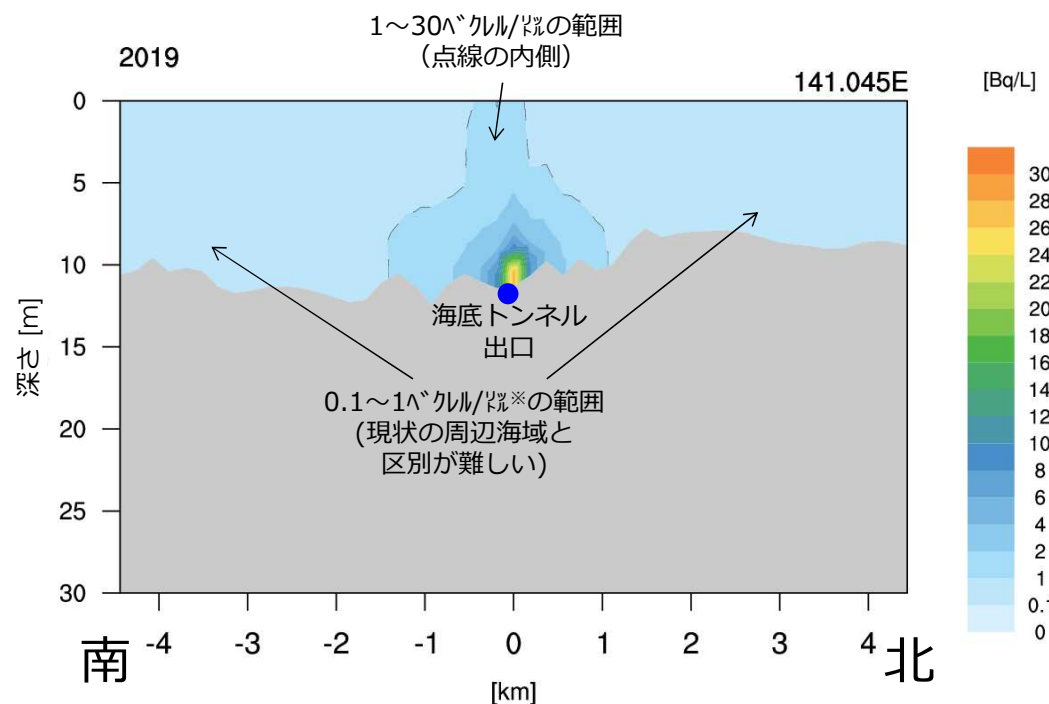
海洋における拡散シミュレーション結果（トンネル出口周辺）

拡散する前のトンネル出口の周辺で速やかに濃度が低下。

なお、ICRPの勧告に沿って定められている国内の規制基準（6万ベクレル/ℓ）やWHO飲料水ガイドライン（1万ベクレル/ℓ）を大幅に下回る。



トンネル出口東西断面図
（最大目盛30ベクレル/ℓにて作図）

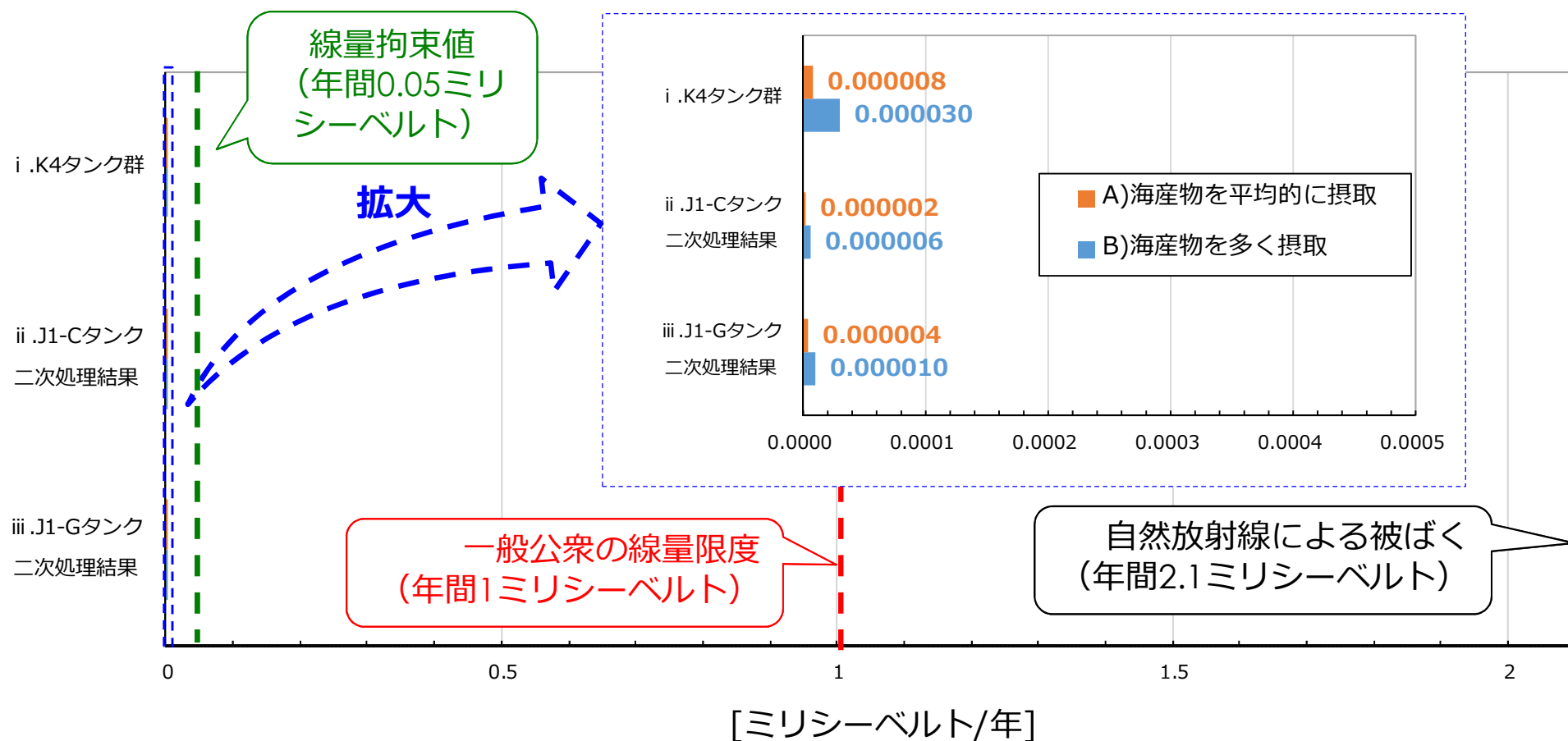


トンネル出口南北断面図
（最大目盛30ベクレル/ℓにて作図）

※WHO飲料水ガイドライン10,000ベクレル/ℓの10万分の1~1万分の1

人への被ばく評価結果 (建設段階)

- 一般公衆の線量限度 (年間1ミリシーベルト) の50万分の1～約3万分の1、線量拘束値に相当する国内の原子力発電所に対する線量目標値 (年間0.05ミリシーベルト) との比較では2万5千分の1～約1700分の1。



(注) 代表で成人の結果のみ示す。この評価は、一度も検出されたことのない不検出核種についても検出下限値で存在すると仮定して試算したもの。なお、この評価は現時点での結果であり、今後の検討の進捗や社内外のレビューの結果等に応じ、評価を更新することがある。

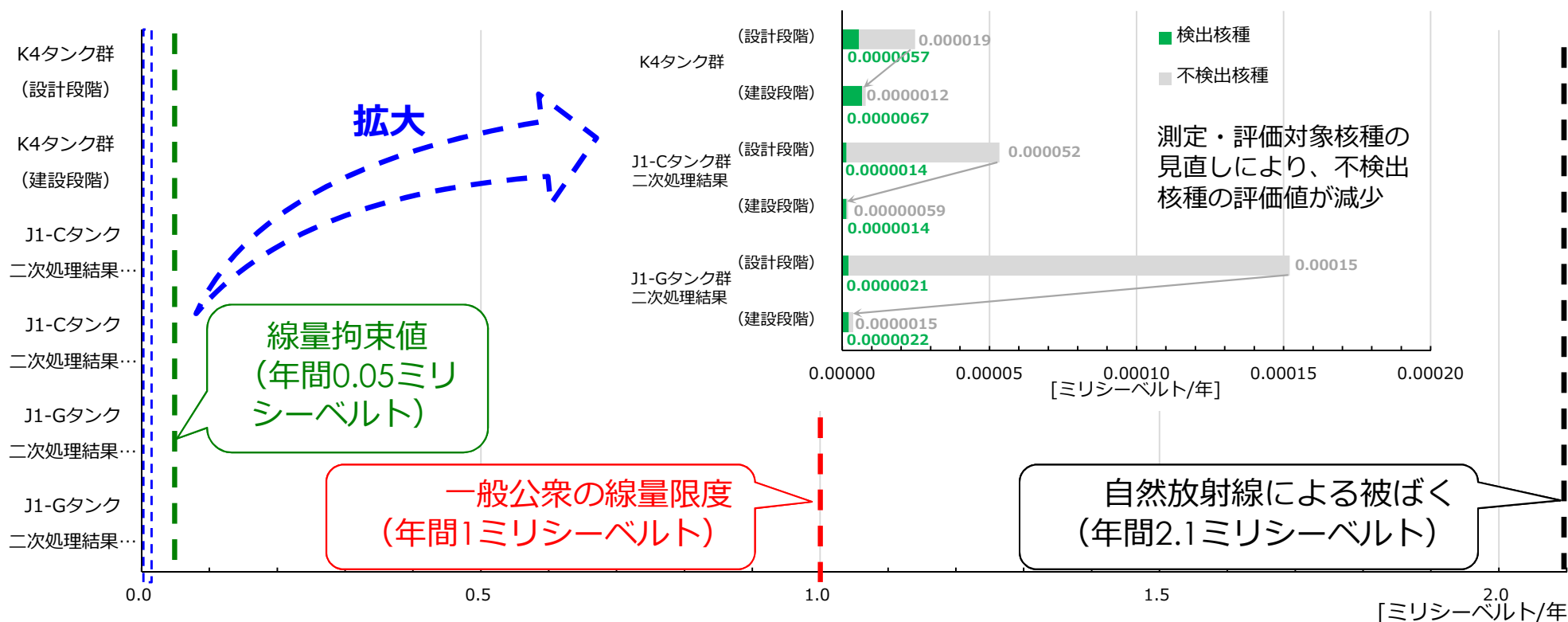
ソースターム見直しによる評価値への影響

- 設計段階における評価では、「不検出核種」による寄与が大部分を占めていたが、測定・評価対象核種の見直しに伴い30核種のソースタームに変更した結果、「不検出核種」による寄与が減少し、評価結果はさらに低下。

- ✓ 今後、通常よりも低い検出下限値による測定を年1回程度行うことで、不検出核種による影響の水準を把握するべく努める。

K4:検出下限値を低くした詳細分析
J1-C, J1-G:継続的に運用可能な検出下限値

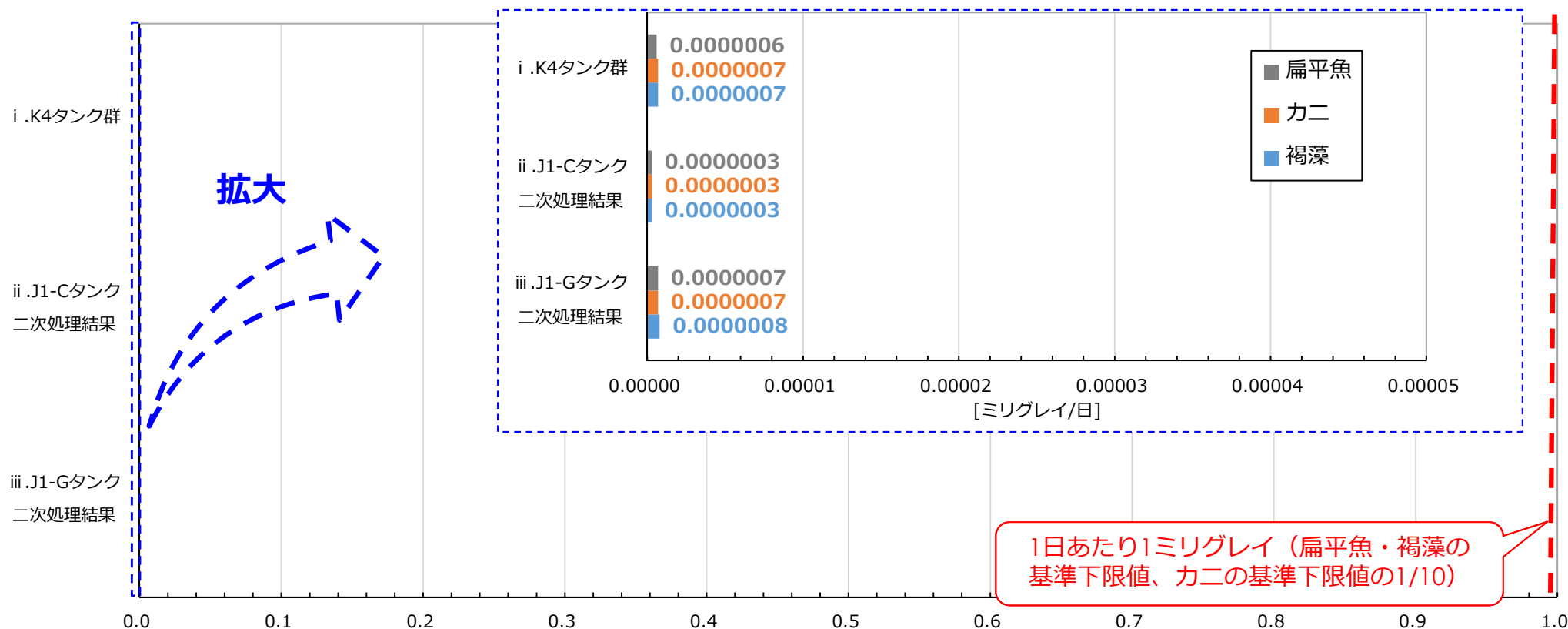
被ばくにおける不検出核種の寄与（海産物を平均的に摂取する場合）



(注) 代表で成人の結果のみ示す。なお、この評価は現時点での結果であり、今後の検討の進捗や社内外のレビューの結果等に応じ、評価を更新することがある。

動植物の被ばく評価結果 (建設段階)

- 評価上の基準である誘導考慮参考レベル* (扁平魚1~10 ミリグレイ**/日、カニ10~100 ミリグレイ/日、褐藻1~10 ミリグレイ/日) の下限値に対して約330万分の1~125万分の1 (カニでは約3300万分の1~約1250万分の1)。



(注) この評価は、一度も検出されたことのない不検出核種についても検出下限値で存在すると仮定して試算したもの。なお、この評価は現時点での結果であり、今後の検討の進捗や社内外のレビューの結果等に応じ、評価を更新することがある。

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

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

潜在被ばくの評価条件

- 表の通り、潜在被ばく*につながる可能性のある事象としてケース1：配管漏えい、ケース2：タンク破損の2ケースを選定し、設定した放出シナリオに基づく被ばく評価を実施。
- 移行経路、被ばく経路、代表的個人の特徴は基本的に通常時と同じとした。

評価手順	建設段階評価	設計段階評価
シナリオの選定	ケース1：配管漏えいにより1日 500m ³ で20日間流出 ケース2：タンク破損で1日で 30000m ³ が流出	同左
ソースターム	実測値によるソースターム (トリチウムを含む30核種)	実測値によるソースターム (トリチウムを含む64核種)
移行、被ばく経路	通常時の被ばくと同じ	同左
代表的個人	通常の生活中に砂浜評価地点で被ばく、内部被ばくも考慮	同左

*潜在被ばく：確実に発生することは予測されないが、事故又は不確実な単一事象若しくは一連の事象が原因で生じる可能性がある被ばく
(IAEA GSR Part3 para.1.20(a))

潜在被ばくの評価結果

- 潜在被ばくにつながる可能性のある2つのシナリオについて評価を行った結果、事故時の基準値5 mSv*を大きく下回るとの結果となった。

*mSv：ミリシーベルト

評価条件	ソースタームの核種組成	実測値によるソースターム					
		i .K4タンク群		ii .J1-Cタンク二次処理結果		iii .J1-Gタンク二次処理結果	
		ケース1	ケース2	ケース1	ケース2	ケース1	ケース2
外部被ばく (mSv*)	海水面	1.8E-09 (3.5E-08)	8.8E-08 (1.7E-06)	3.5E-09 (4.0E-07)	1.7E-07 (1.9E-05)	2.5E-09 (3.6E-07)	1.2E-07 (1.7E-05)
	船体	1.9E-09 (2.5E-08)	9.4E-08 (1.2E-06)	3.6E-09 (2.8E-07)	1.7E-07 (1.4E-05)	2.5E-09 (2.5E-07)	1.2E-07 (1.2E-05)
	遊泳中	1.7E-10 (3.3E-09)	8.3E-09 (1.6E-07)	3.3E-10 (3.8E-08)	1.6E-08 (1.8E-06)	2.3E-10 (3.4E-10)	1.1E-08 (1.6E-06)
	海浜砂	2.9E-07 (5.8E-06)	1.4E-05 (2.8E-04)	5.6E-07 (6.7E-05)	2.7E-05 (3.2E-03)	4.0E-07 (5.9E-05)	1.9E-05 (2.8E-03)
	漁網	8.9E-07 (1.5E-05)	4.3E-05 (8.9E-04)	1.7E-06 (2.1E-04)	8.3E-05 (1.0E-02)	1.2E-06 (1.9E-04)	5.8E-05 (9.1E-03)
内部被ばく (mSv*)	飲水	1.8E-07 (2.4E-07)	8.7E-06 (1.2E-05)	8.7E-07 (9.9E-07)	4.1E-05 (4.7E-05)	2.9E-07 (3.3E-07)	1.4E-05 (1.6E-05)
	しぶき吸入	5.0E-08 (6.9E-08)	2.4E-06 (3.3E-06)	5.4E-07 (6.4E-07)	2.6E-05 (3.1E-05)	3.5E-07 (4.2E-07)	1.7E-05 (2.0E-05)
	海産物摂取 (多い場合)	2.6E-04 (7.1E-04)	1.3E-02 (3.4E-02)	2.4E-04 (5.4E-03)	1.2E-02 (2.6E-01)	1.6E-04 (4.9E-03)	7.8E-03 (2.4E-01)
合計 (mSv*)		3E-04 (7E-04)	1E-02 (4E-02)	2E-04 (6E-03)	1E-02 (3E-01)	2E-04 (5E-03)	8E-03 (2E-01)

事故時被ばくの基準値：5mSv*

【参考】人への放射線環境影響評価結果詳細

*mSv : ミリシーベルト

評価条件	ソースタームの核種組成	実測値によるソースターム					
		i .K4タンク群		ii .J1-Cタンク二次処理結果		iii .J1-Gタンク二次処理結果	
		A:平均	B:多い	A:平均	B:多い	A:平均	B:多い
外部被ばく (mSv*/年)	海水面	4.6E-10(6.5E-09)		1.7E-10(1.7E-08)		3.7E-10(4.7E-08)	
	船体	4.9E-10(4.8E-09)		1.8E-10(1.2E-08)		3.7E-10(3.3E-08)	
	遊泳中	3.2E-10(4.5E-09)		1.2E-10(1.2E-08)		2.5E-10(3.2E-08)	
	海浜砂	5.4E-07(7.8E-06)		2.0E-07(2.1E-05)		4.3E-07(5.6E-05)	
	漁網	1.1E-07(1.6E-06)		3.9E-08(4.3E-06)		8.3E-08(1.2E-05)	
内部被ばく (mSv*/年)	飲水	3.4E-07(3.3E-07)		3.1E-07(3.1E-07)		3.1E-07(3.2E-07)	
	しぶき吸入	9.2E-08(9.3E-08)		1.9E-07(2.0E-07)		3.8E-07(4.0E-07)	
	海産物摂取	6.9E-06 (1.5E-05)	3.1E-05 (6.1E-05)	1.2E-06 (2.8E-05)	5.5E-06 (1.1E-04)	2.6E-06 (7.9E-05)	1.1E-05 (3.0E-04)
合計 (mSv*/年)		8E-06 (3E-05)	3E-05 (7E-05)	2E-06 (5E-05)	6E-06 (1E-04)	4E-06 (1E-04)	1E-05 (4E-04)
<p>一般公衆の線量限度 : 1mSv*/年 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</p>							

【参考】動植物の放射線環境影響評価結果詳細

*mGy : ミリグレイ

() 内は設計段階での値

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	6E-07 (2E-05)	3E-07 (2E-05)	7E-07 (6E-05)
	カニ	7E-07 (2E-05)	3E-07 (2E-05)	7E-07 (6E-05)
	褐藻	7E-07 (2E-05)	3E-07 (2E-05)	8E-07 (6E-05)
誘導考慮参考レベル(DCRL) 扁平魚 : 1-10 mGy*/日 カニ : 10-100mGy*/日 褐藻 : 1-10mGy*/日				

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

【参考】安全確保のための設備の全体像

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>



※：共同漁業権非設定区域

当面の間、海水とALPS処理水が混合・希釈していることを、立坑を活用して直接確認した後、放出を開始

二次処理設備（新設逆浸透膜装置）

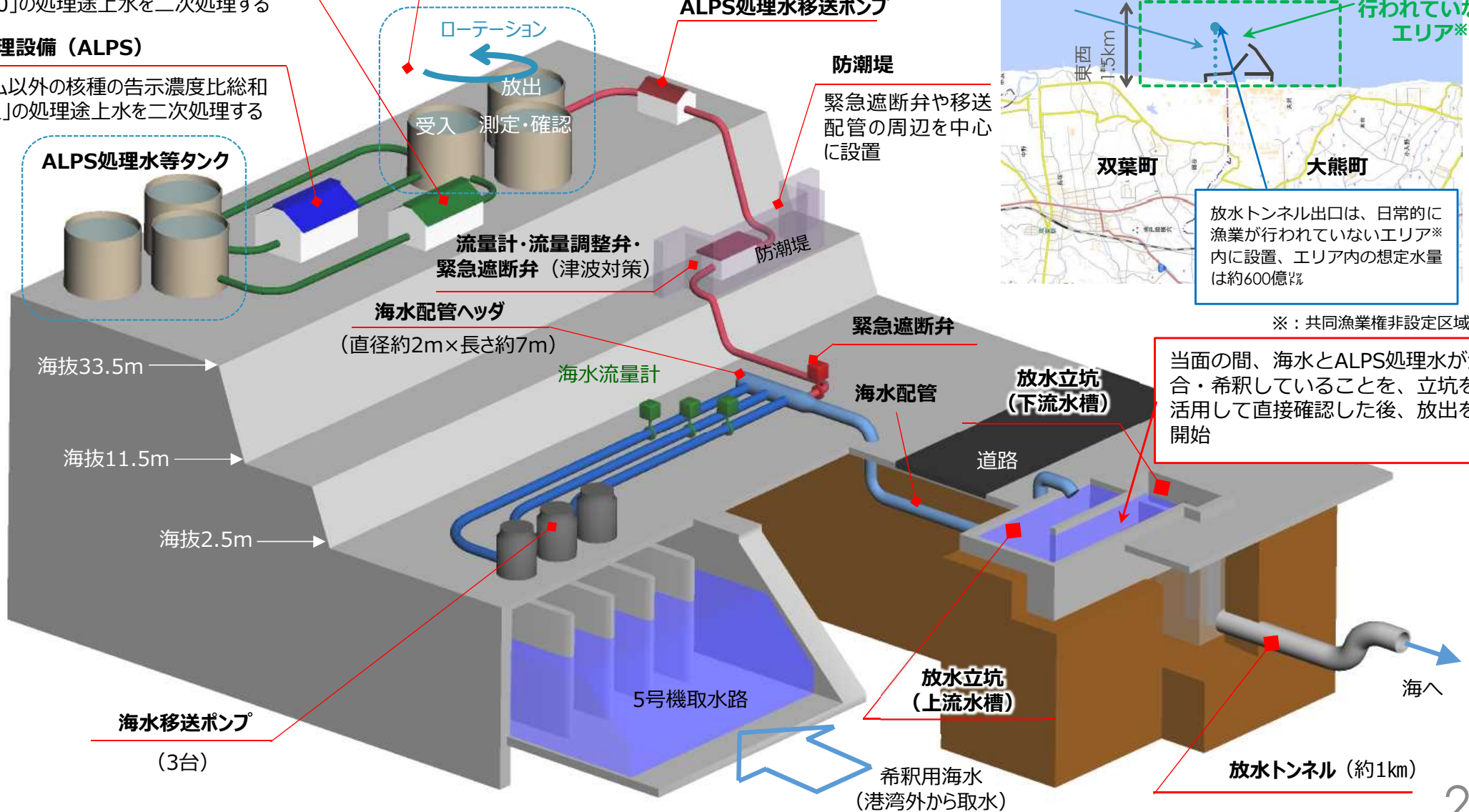
トリチウム以外の核種の告示濃度比総和「1～10」の処理途上水を二次処理する

二次処理設備（ALPS）

トリチウム以外の核種の告示濃度比総和「1以上」の処理途上水を二次処理する

測定・確認用設備（K4タンク群）

3群で構成し、それぞれ受入、測定・確認、放出工程を担い、測定・確認工程では、循環・攪拌により均質化した水を採取して分析を行う（約1万m³×3群）



海水移送ポンプ (3台)

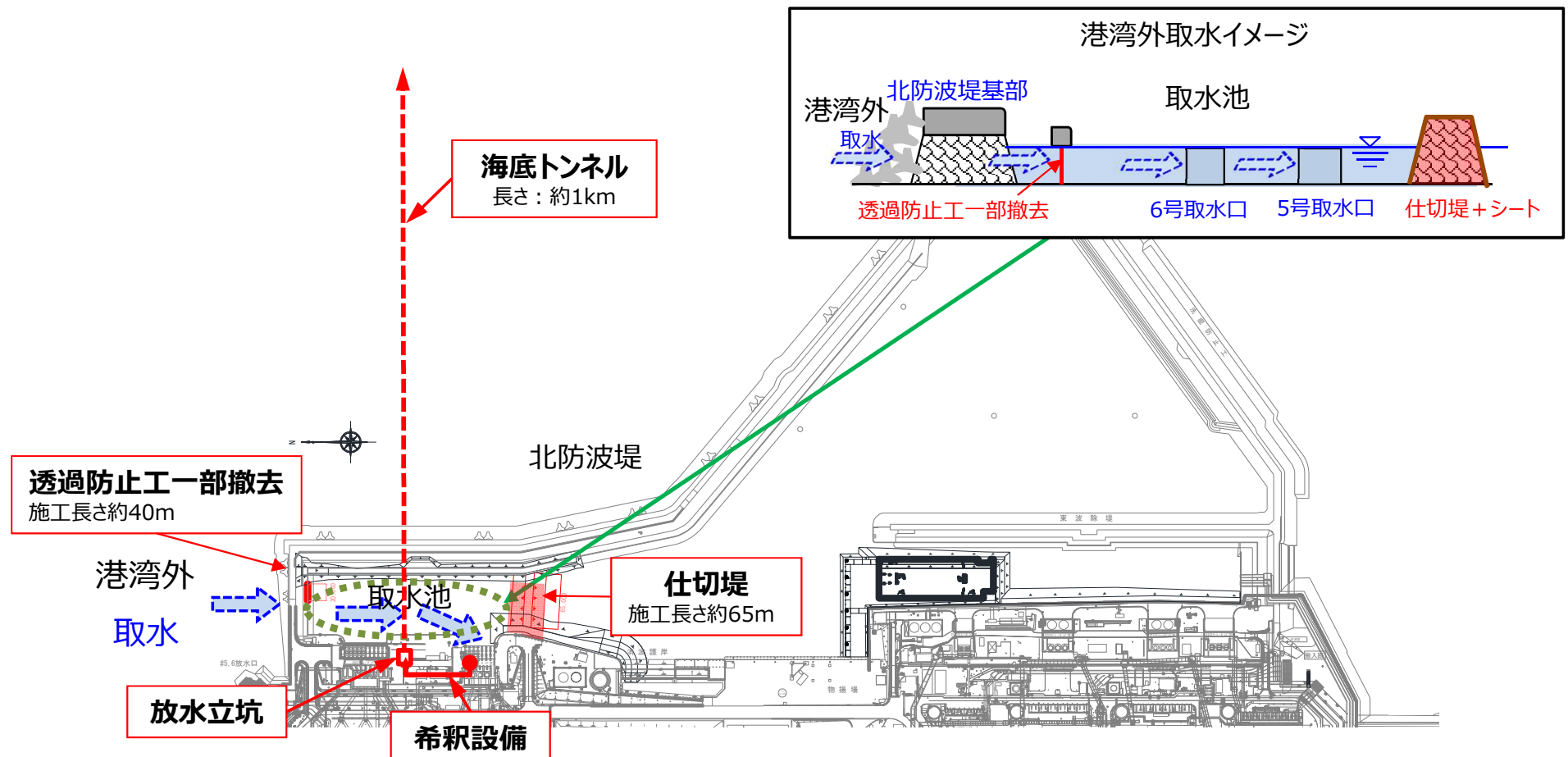
海拔33.5m

海拔11.5m

海拔2.5m

【参考】 港湾の設計

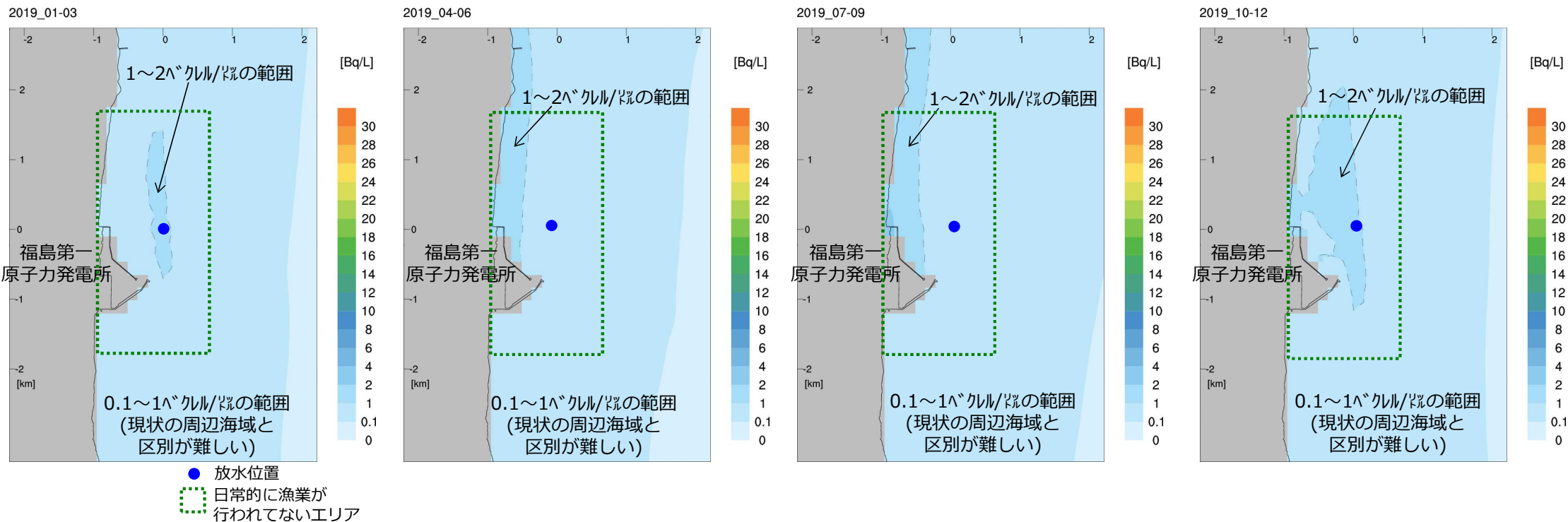
- 北防波堤の一部を改造して、港湾外の海水を希釈用として取水し、仕切堤で港湾内と分離することで、**港湾内の海水が希釈用の海水と直接混合しない**ようにする。
- 沿岸から約1km離れた場所からの放水とすることにより、海水が**再循環しにくい**（希釈用海水として再取水されにくい）設計とする。



【参考】 海洋における拡散シミュレーション結果 (季節平均) **TEPCO**

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ベクレル/ℓ※) よりも濃度が高くなると評価された範囲 (点線の内側範囲) は、季節平均をとっても、**発電所周辺に留まる。**

※WHO飲料水ガイドライン10,000ベクレル/ℓの10万分の1~1万分の1



1-3月平均

4-6月平均

7-9月平均

10-12月平均

【参考】 海洋における拡散シミュレーション結果 (拡散傾向) **TEPCO**

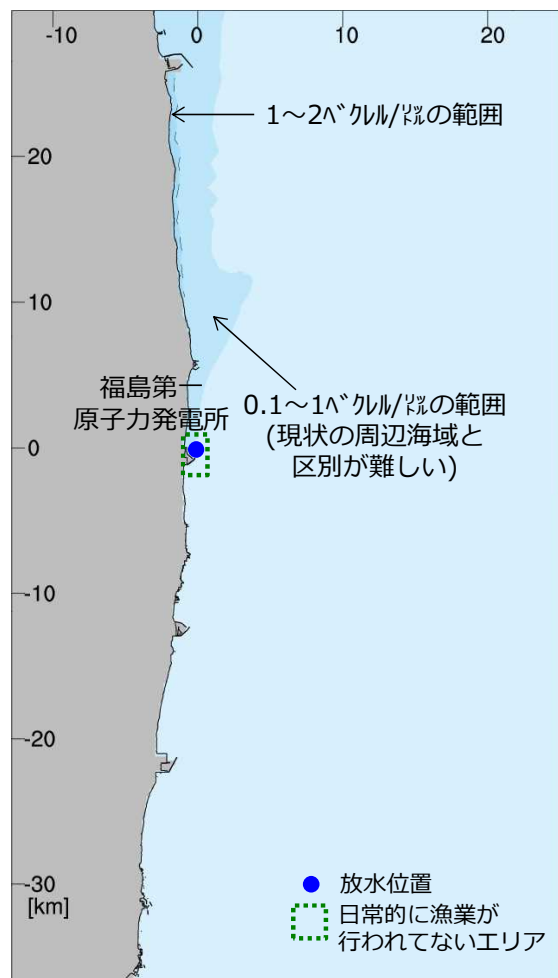
シミュレーション結果の中で、現状の周辺海域の海水に含まれるトリチウム濃度 (0.1~1ベクレル/ℓ※) よりも濃度が高くなると評価された範囲 (1ベクレル/ℓを超える範囲) が最も広がる日の場合でも、放出口の南北30km程度の範囲に留まる。

※WHO飲料水ガイドライン10,000ベクレル/ℓの10万分の1~1万分の1

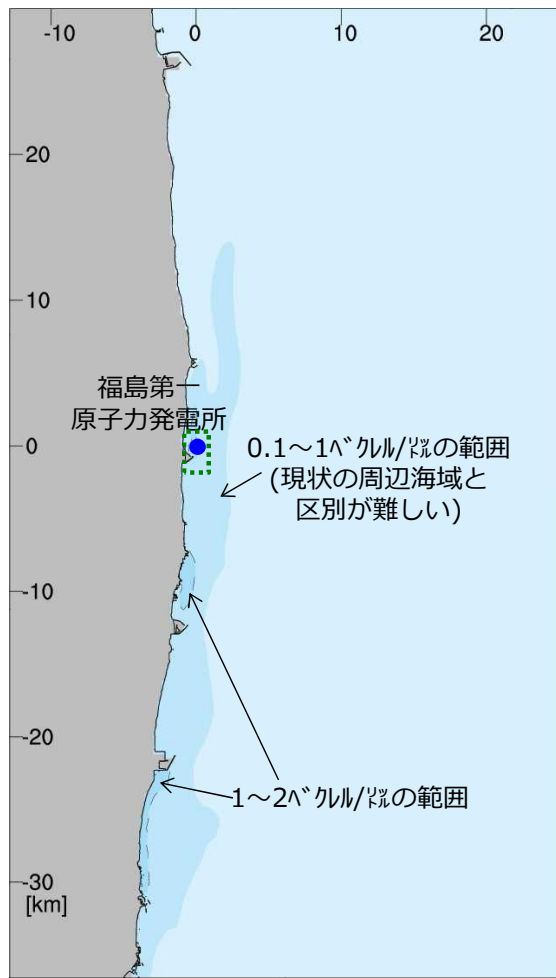
20190521

20190211

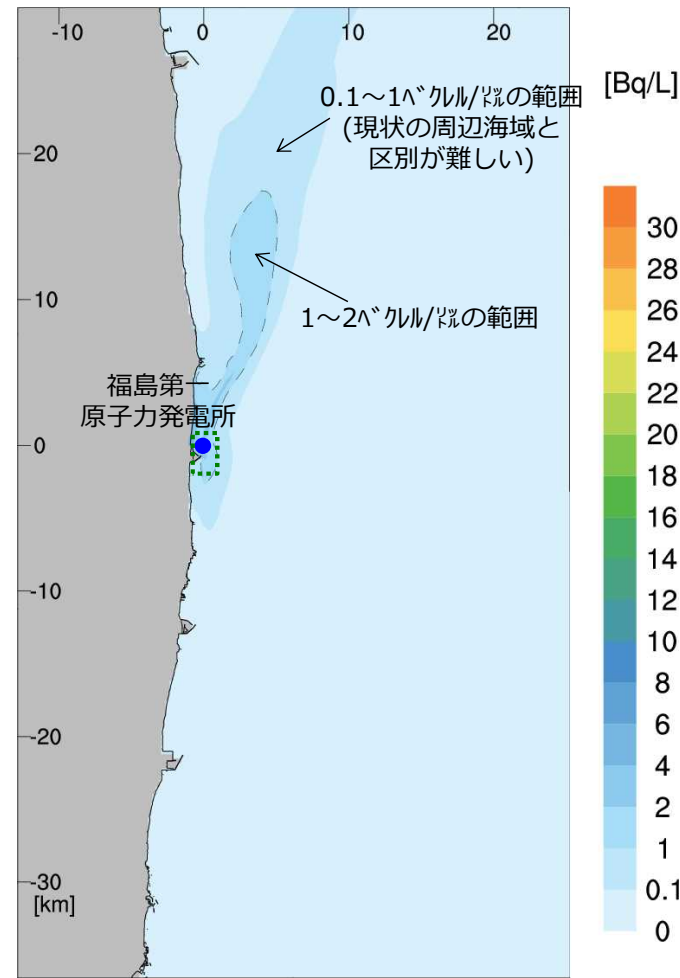
20190829



最も北に広がる場合
(最大目盛30ベクレル/ℓにて作図)



最も南に広がる場合
(最大目盛30ベクレル/ℓにて作図)



最も東に広がる場合
(最大目盛30ベクレル/ℓにて作図)

【参考】 海洋における拡散シミュレーション結果 (拡散傾向) **TEPCO**

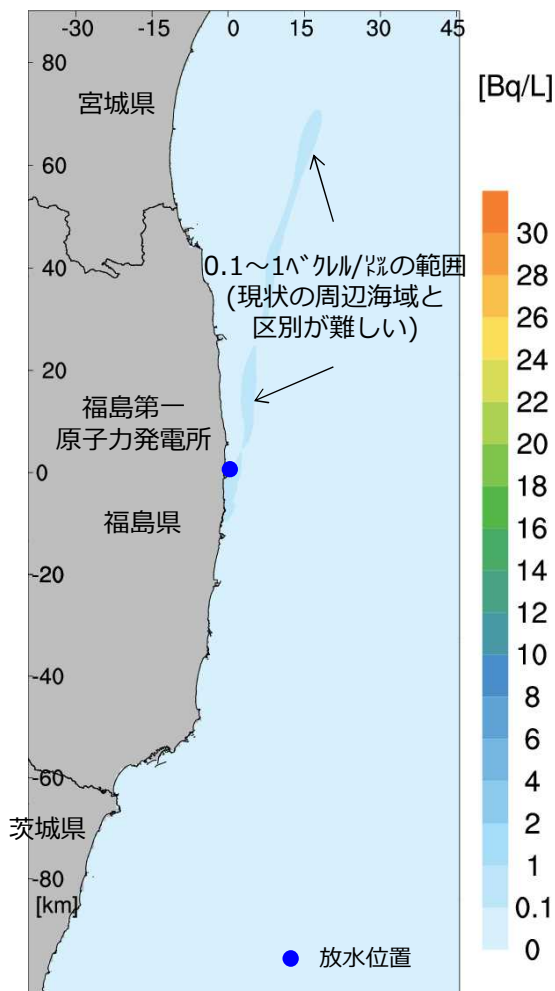
更に実測では現状の周辺海域の海水に含まれるトリチウム濃度 (0.1~1ベクレル/ℓ※) と区別できない低い濃度 (0.1ベクレル/ℓを超える範囲) についても、シミュレーション結果から最も拡がる日における拡散範囲を確認してみると、以下の傾向が見られる。

※WHO飲料水ガイドライン10,000ベクレル/ℓの10万分の1~1万分の1

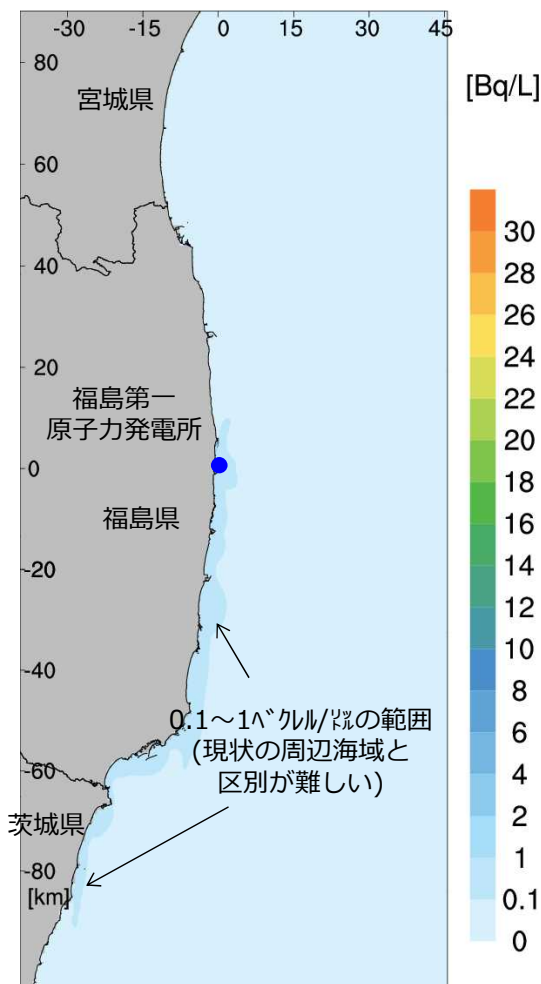
20190827

20191027

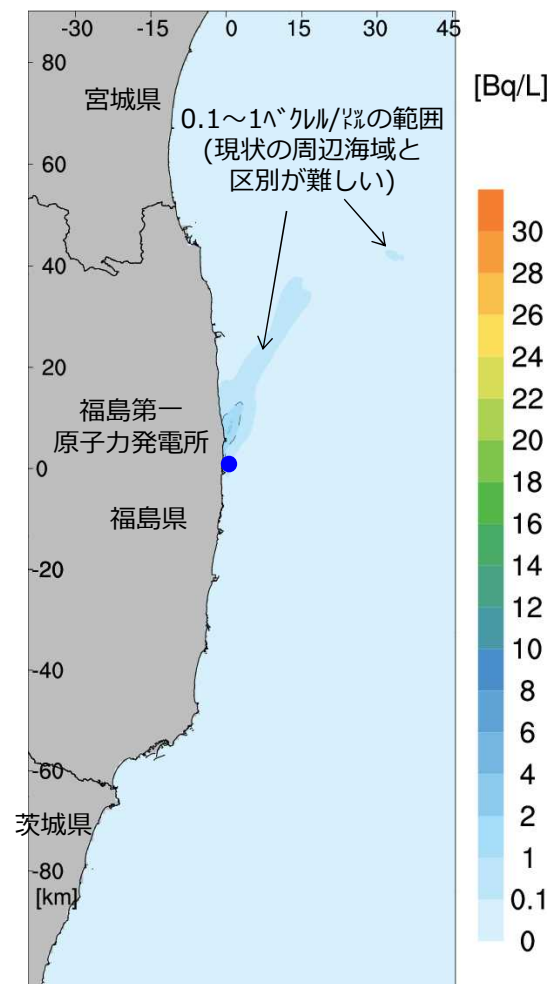
20190806



最も北に拡がる場合
(最大目盛30ベクレル/ℓにて作図)



最も南に拡がる場合
(最大目盛30ベクレル/ℓにて作図)



最も東に拡がる場合
(最大目盛30ベクレル/ℓにて作図)

【参考】 放出位置の違いによる拡散への影響の考察

今回の計画に沿った拡散シミュレーションとともに、放出位置を現在の5・6号機放水口位置とした沿岸放出を想定した場合のシミュレーションも実施（ただし、取水位置による再循環は無視）。

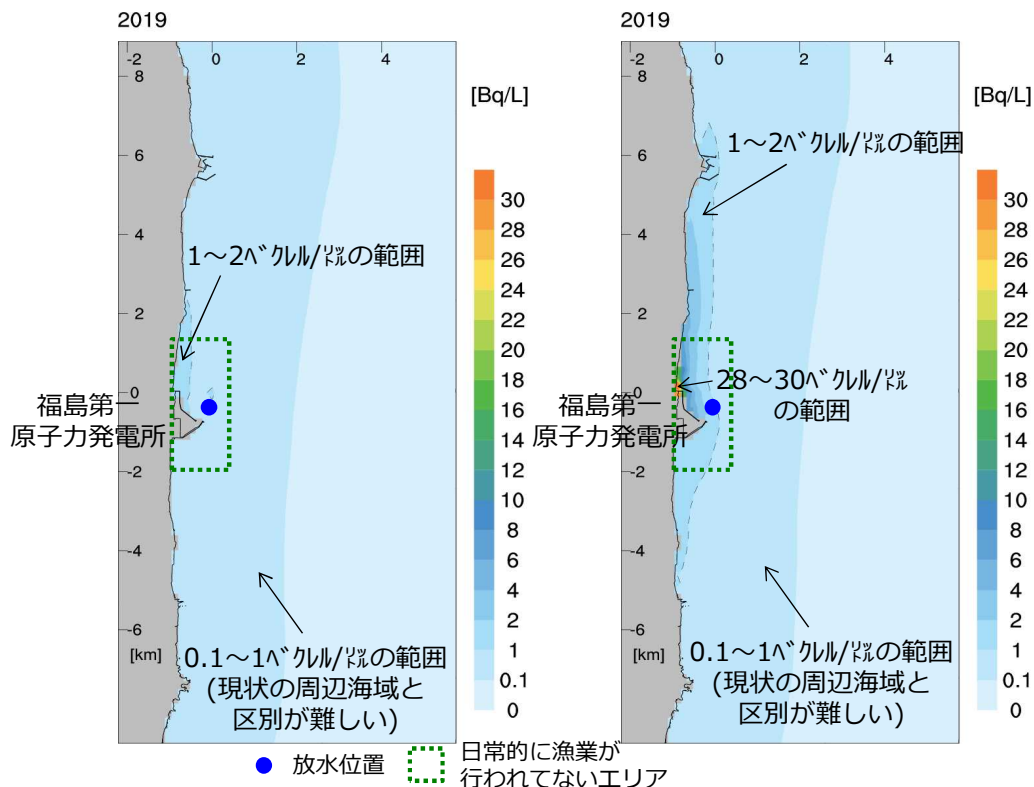
現状の周辺海域の海水に含まれるトリチウム濃度（0.1～1ベクレル/ℓ※）よりも濃度が高くなると評価される範囲（点線の内側の範囲）は、沿岸放出の場合発電所周辺の6～7kmの範囲となるのに対し、**現状案（海底トンネル）は2～3kmの範囲に留まる。**

※WHO飲料水ガイドライン10,000ベクレル/ℓの10万分の1～1万分の1

福島県沖拡大図

現状案

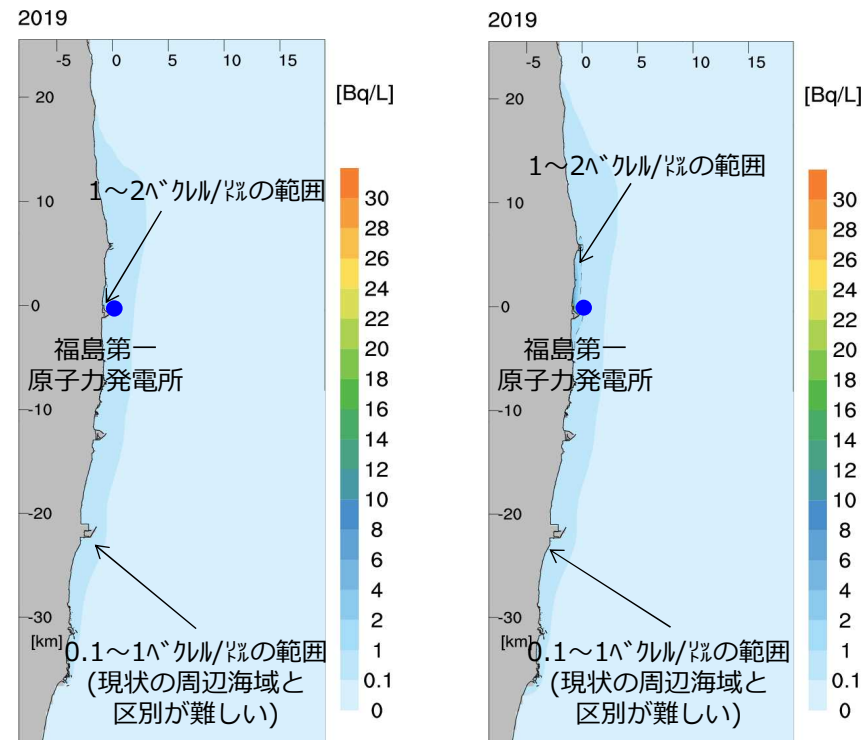
沿岸放出案



広域図

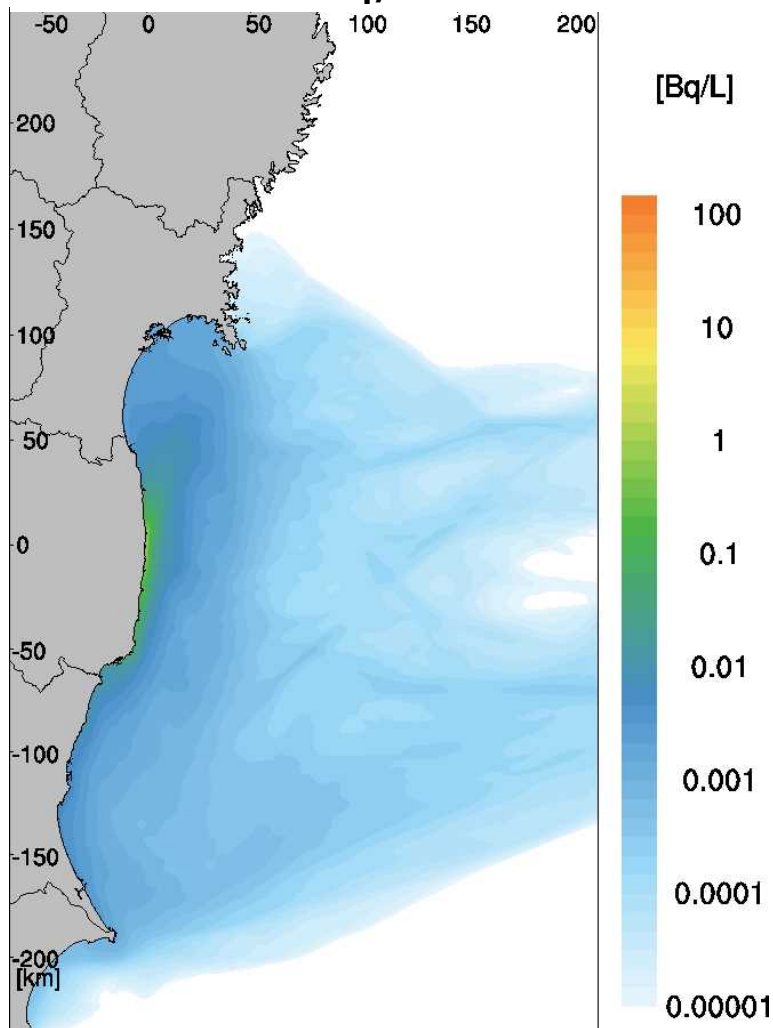
現状案

沿岸放出案



【参考】シミュレーションの計算領域外への影響

計算領域全体の年間平均濃度分布図
(2019年、1E-05Bq/Lまで図示)



数字は、発電所からの距離[km]

- 2019年の気象海象データで計算した全領域の年間平均濃度について、1E-05Bq/Lまで図示した結果を左図に示す。
- 計算範囲の境界における2014年～2020年までの年間平均濃度の最大値は、下表に示すとおり全て東側で、1.1E-04～2.6E-04Bq/Lであり、日本周辺海域における海水中トリチウム濃度（約1.0E-01Bq/L）と比較して十分低い。
- 発電所周辺10km×10kmの範囲の年間平均濃度から計算した被ばく評価結果は、一般公衆の線量限度1 mSv/年はもとより、線量拘束値0.05mSv/年と比べても大幅に低いことを踏まえれば、計算領域から外側においてはそれ以下の濃度となるため、放射線影響を評価する必要はないものとする。

各年のモデル境界（南北、東）における年間平均濃度の最大値と位置

年	濃度 (Bq/L)	位置 (距離は発電所からの距離)		
		東西	南北	表層からの深さ
2014	1.1E-04	東へ約218km	南へ約162km	約9.0m
2015	2.6E-04	東へ約218km	南へ約102km	約0.6m
2016	1.4E-04	東へ約218km	南へ約6km	約5.5m
2017	2.4E-04	東へ約218km	南へ約30km	約9.0m
2018	1.9E-04	東へ約218km	南へ約97km	約0.6m
2019	1.6E-04	東へ約218km	南へ約68km	約1.7m
2020	1.9E-04	東へ約218km	南へ約25km	約1.7m

【参考】人および環境への放射線影響評価の前提条件

- トリチウム放出量：年間22兆ベクレル

評価ケース	i. K4タンク群	ii. J1-Cタンク 二次処理結果	iii. J1-Gタンク 二次処理結果
トリチウム濃度 [Bq/L]	14万	72万	24万
年間ALPS処理水 放出量[m ³ /年]	16万	3.1万	9.2万

- 海洋での移流・拡散を考慮し、福島第一原子力発電所周辺10km×10km圏内の平均海水濃度を用いて評価
 - ✓ 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
- 被ばく経路として、以下の経路を設定

人への放射線影響評価	環境への放射線影響評価
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 海水面からの外部被ばく ✓ 船体からの外部被ばく ✓ 遊泳中における外部被ばく ✓ 海浜砂からの外部被ばく ✓ 漁網からの外部被ばく ✓ 海水の飲水による内部被ばく ✓ 海水の水しぶきの吸入による内部被ばく ✓ 海産物摂取による内部被ばく 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 海水からの外部被ばく ✓ 海底の堆積物からの外部被ばく ✓ 体内に取り込んだ放射性物質からの内部被ばく

【参考】 主なIAEAレビュー結果に対する対応

IAEAレビューでのコメント	当社の対応
<p>評価対象核種の中で相対的に被ばく影響が大きく、半減期の長い炭素14とヨウ素129に関して、どのような被ばく評価をすべきなのかに関する議論を放射線環境影響評価報告書に含めること。</p>	<p>炭素14とヨウ素129について、すでに環境中に放出されている量と比較し小さいこと等から、地球規模の影響は無視できる程度であり、代表的個人の評価のみ行う旨の記載を追加した。(第4章(4)および(5))</p>
<p>環境中での放射性核種の蓄積について、東京電力が海水と海底土間での平衡状態を仮定することによって、数十年後の最も線量が高い状態と同等の線量予測を行っていることを明確に記載すること。</p>	<p>海水と海底土間の平衡状態を仮定することで、長期間の蓄積を考慮した評価となっていることを明確化した。(第4章(3))</p>
<p>発電所から3kmの砂浜地点において漁獲された海産物のみを摂取するケースを想定しなくてよい理由をより明確に記載すること。</p>	<p>発電所から3kmの砂浜地点での漁獲は釣り等が想定されるが、釣り等による捕獲した魚介類は年間に摂取される魚介類のごく一部であること、本地点も海産物摂取による被ばく評価対象とした10km×10km圏内の一部であること、摂取する魚介類を10km×10km圏内のみと保守的に設定していることから評価不要であると記載した。(第6章6-1-2(4))</p>
<p>有機結合型トリチウム(OBT)の環境中での移行やそれに関連する線量評価には不確かさがあるので、それを考慮したOBTの影響や不確かさに関する評価結果について記載すること。</p>	<p>環境中でのOBTの振る舞いについて不確かさがあること、また、不確かさがあってもトリチウムによる被ばくが被ばく評価値全体に占める割合は小さく、線量評価全体に与える影響は非常に軽微である旨を追記した。(第8章8-2-5および添付III)</p>
<p>モデルの領域外への影響評価のため、トリチウムの濃度だけでなく、炭素14やヨウ素129など線量への影響が大きい核種のモデル境界における濃度も記載すること。</p>	<p>領域境界における炭素14とヨウ素129濃度の最大値を追記するとともに、いずれの濃度も当該海域のバックグラウンドと比較し小さく、さらに外側の領域を含むシミュレーションは不要である旨追記した。(添付VII)</p>
<p>放射線防護の最適化についての記載をさらに充実させること。</p>	<p>IAEA SF-1、GSR Part3およびGSG-9に沿った形で防護の最適化に関する記載を充実化した。(参考G)</p>