

關於因重新檢視測量與評估對象核種而重新評估之 輻射環境影響評估（建設階段*）結果

2023年2月14日

TEPCO

東京電力控股株式會社

* 本報告書之評估，為依據排放入海相關計畫之設計與運用相關商議之進度、來自各方的意見、IAEA專家審查、經第三方評估之交叉核對等所獲得的擴大見解，適切地重新檢視之結果。

概要

- 在2022年4月公布「ALPS處理水排放入海相關輻射影響評估結果（設計階段、修訂版）」後，依據本公司商議與工程之進度、IAEA審查以及與原子能管制委員會的討論等，於2022年11月重新檢視了部分的評估
- 在2022年11月的評估中，依據已選定之ALPS處理水排放入海時的測量與評估對象核種共30個核種，實施對輻射源項的重新檢視。
- 其後依據原子能管制廳技術會議等的討論，變更部分對測量與評估對象核種選定之看法，選定29個核種作為測量與評估對象核種，故進行重新評估。此外，改為29個核種的此一變更，也受到IAEA的審查。
(關於對測量與評估對象核種選定看法之詳請，參照「ALPS處理水相關處理實施計畫變更認可申請書之部分補正【概要】」。)
- 此外，本次的評估在選定測量與評估對象核種方面，使用事故發生12年後之2023年3月時的存量，依據此一條件，對輻射源項的核種組成進行衰變補正，使其符合2023年3月時的濃度。
- 同時，針對2022年11月IAEA在審查時指正之事項，也加以反映。
- 關於輻射環境影響評估，劑量評估值大幅低於一般大眾之劑量限度與劑量約束值、國際機構提倡之依各生物種所訂定之值，此一結論並無改變。
 - 對人體之劑量評估值，與設計階段之評估相比，為1/40～1/2左右
 - 對環境的劑量評估值，與設計階段之評估相比，為1/100～1/30左右

關於本評估

- 對於依據政府「基本方針」，並依循本公司所商議之設備設計及運用進行排放時，輻射對人體及環境所造成之影響，遵照受國際所承認之方法（國際原子能總署（IAEA）安全標準系列、國際放射防護委員會（ICRP）建議），訂定評估方法。
- 據此評估曝露劑量時，結果大幅低於劑量限度與劑量目標值，以及國際機構提倡之依各生物種所訂定之值，顯示對人體及環境的影響極為輕微。
- 今後也將在進行必要手續以取得原子能管制委員會對實施計畫之認可的同時，開始排放入海之後仍透過IAEA專家等審查、各方意見與審查等，因應必要重新檢視評估。
- 此外，為消除日本國內外各方之憂慮並培養相應理解，對於輻射對人體與環境造成之影響，將持續發布具高度透明之相關科學資訊。

東京電力為確保一般大眾與環境之安全，對於排放水當中的氬以及其他放射性物質濃度，將確實遵守以國際標準（IAEA安全標準系列與ICRP建議）為準則之國家管制標準與各種法令等。

1. 作為評估前提之排放方法
2. 評估方法
3. 評估結果
4. 參考

作為評估前提之排放方法

- 在排放前，測量、評估（包含由第三方機構進行之測量、評估）ALPS處理水排放入海時之測量與評估對象29個核種及氬，確認氬以外的核種之告示濃度比總和*已淨化至小於1。
- 氬的全年排放量小於22兆貝克，即事故前福島第一核電廠的排放管理目標值。
- 在排放時，以海水稀釋100倍以上，使排放口的氬濃度小於1,500貝克 / 公升（Bq/L）。藉此，氬以外核種之告示濃度比總和，也會稀釋到小於100分之1。
- 為使排放水不易再度被取用為稀釋用海水，稀釋後的ALPS處理水會從發電廠海域約1公里的海底處排放。
- ALPS處理水的排放發生異常時，在迅速關閉緊急遮斷閥的同時，也會停止ALPS處理水的輸送泵，停止排放。

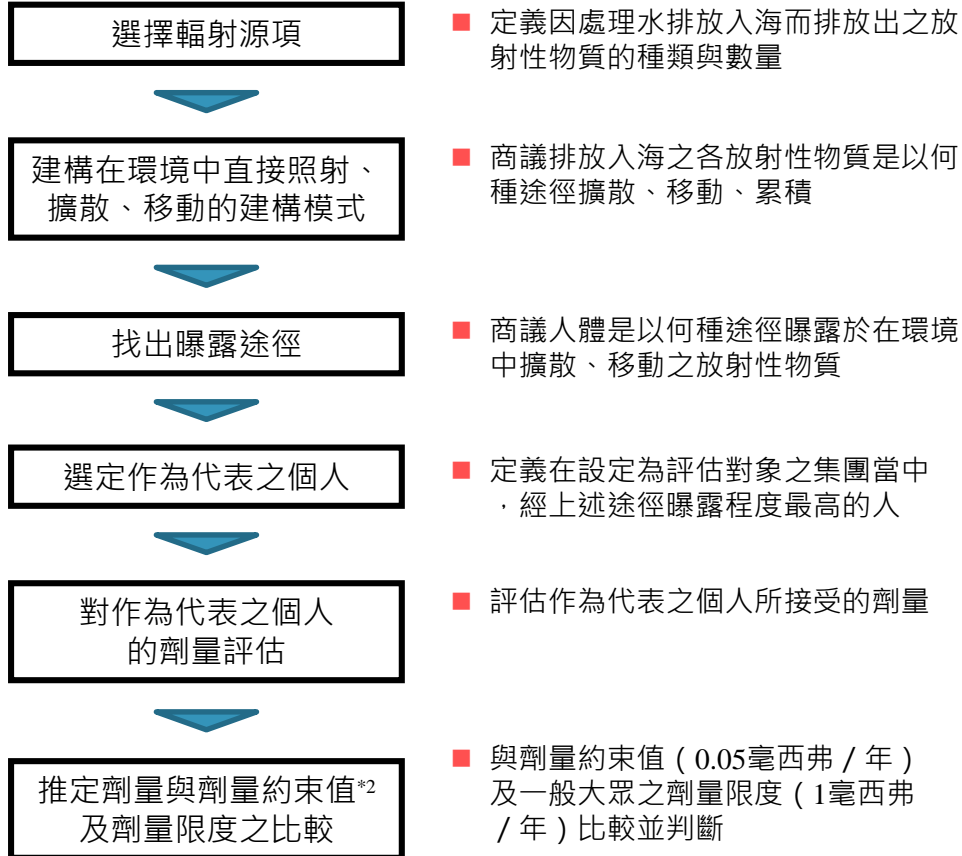
* 告示濃度比總和：排放水中含有多種放射性物質時，求出相對於各核種濃度法令上的限度之比，並加以合計的結果。依法令規定，福島第一核電廠排水口之告示濃度比總和不得超過1。本次計畫在排放入海時，將針對氬以外之放射性物質，在稀釋排放前的階段以ALPS等處理至告示濃度比總和小於1；而氬濃度方面，則以100倍以上的海水稀釋至告示濃度（小於60,000貝克 / 公升）的40分之1（1500貝克 / 公升）程度。藉此，將使氬以外的放射性物質濃度遠低於告示濃度。

1. 作為評估前提之排放方法
- 2. 評估方法**
3. 評估結果
4. 參考

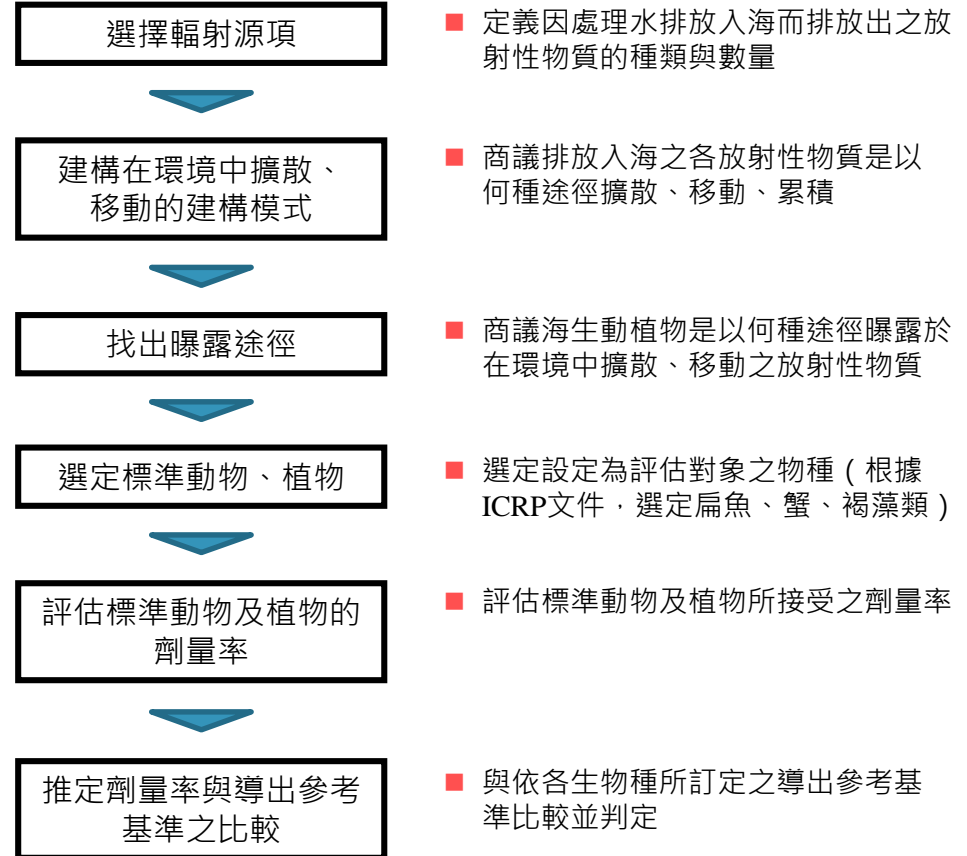
輻射環境影響評估之步驟

遵循國際原子能總署 (IAEA) 的安全標準系列*1，以下列步驟進行評估。

對人體之評估



與環境防護 (人以外之生物) 相關之評估



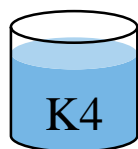
*1 IAEA GSG-9 "Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment"

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

*2 劑量約束值：在達到劑量限度前，由負有某一輻射作業或設施之責任者所訂定之數值，以使防護安全達到最佳化。對於福島第一核電廠，原子能管制委員會在2022年2月16日，已提出見解表示核電廠的劑量目標值 (全年0.05毫西弗) 相當於IAEA安全標準之劑量約束值。

選擇輻射源項 (排放之放射性物質的種類與數量)

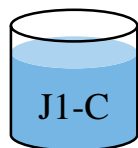
- 從讓預設更接近於現實的觀點，在實際的ALPS處理水當中，假設分析與評估對象核種實測值幾乎相同的3組儲槽組各自的水，將以海水稀釋後，在排放期間持續排出。
- 以2022年12月原子能管制廳技術會議中的討論，所選定之測量與評估對象核種 (29個核種) 為基礎，選定包含氬在內的30個核種作為輻射源項。
- 在各儲槽組中未有測量實績的核種，則沿用其他儲槽等資料進行評估。
- 對於在此之前未曾檢測出的放射性物質，也假設其以偵測下限值包含在內。
- 對各儲槽群的核種濃度，在事故發生12年後之2023年3月時進行半衰期補正。



i. K4儲槽組

氬濃度：約14萬貝克 / 公升

氬以外的29個核種之告示濃度比總和*：0.26



ii. J1-C儲槽組

氬濃度：約72萬貝克 / 公升

氬以外的29個核種之告示濃度比總和：0.21



iii. J1-G儲槽組

氬濃度：約24萬貝克 / 公升

氬以外的29個核種之告示濃度比總和：0.10

任一案例均以

- 22兆貝克作為全年的氬排放量範圍進行排放
- 稀釋時，使稀釋後的氬濃度小於1,500貝克 / 公升

為前提

*告示濃度比總和：排放水中含有多種放射性物質時，求出相對於各核種濃度法令上的限度之比，並加以合計的結果。依法令規定，福島第一核電廠排水口之告示濃度比總和不得超過1。本次計畫在排放入海時，將針對氬以外之放射性物質，在稀釋排放前的階段以ALPS等處理至告示濃度比總和小於1；而氬濃度方面，則以100倍以上的海水稀釋至告示濃度（小於60,000貝克 / 公升）的40分之1（1,500貝克 / 公升）程度。藉此，將使氬以外的放射性物質濃度遠低於告示濃度。

【參考】與ALPS去除對象核種（62個核種）、碳14之比較

- 自2022年7月之認可後到本次補正申請為止，變更之核種如下所示。
- 此外，在ALPS去除對象核種當中，對於未選定為測量與評估對象之核種，為確認ALPS之去除性能，本公司亦將持續實施自主測量。

測量與評估對象核種：29個核種（=24+5）

※：下表所示核種以外，也測量氫

C-14 碳	Y-90 釷	Cs-137 銫	U-238 鈾	Cm-244 鈾
Mn-54 錳	Tc-99 鎳	Ce-144 鈰	Np-237 鈾	
Fe-55 鐵	Ru-106 鈷	Pm-147 鉕	Pu-238 鈾	
Co-60 鈷	Sb-125 銻	Sm-151 釷	Pu-239 鈾	
Ni-63 鎳	Te-125m 碲	Eu-154 鈰	Pu-240 鈾	
Se-79 硒	I-129 碘	Eu-155 鈰	Pu-241 鈾	
Sr-90 銻	Cs-134 銫	U-234 鈾	Am-241 錒	

ALPS去除對象核種當中，從測量與評估對象核種中排除之核種：
39個核種（=13+10+16）

Fe-59 鐵	Te-129m 碲	Co-58 鈷	Te-123m 碲	Zn-65 鋅	Ba-137m 鋇	Cm-242 鈾
Rb-86 銣	Cs-136 銫	Y-91 釷	Te-127 碲	Rh-106 銲	Pr-144 釷	Cm-243 鈾
Sr-89 銻	Ba-140 鋇	Nb-95 鈮	Te-127m 碲	Ag-110m 銀	Pr-144m 釷	
Ru-103 鈷	Ce-141 鈰	Sn-123 錫	Gd-153 釷	Cd-113m 鎘	Pm-146 鉕	
Rh-103m 銲	Pm-148 鉕	Sb-124 銻	Tb-160 鉕	Sn-119m 錫	Eu-152 鈰	
Cd-115m 鎘	Pm-148m 鉕			Sn-126 錫	Am-242m 錒	
Te-129 碲				Cs-135 銫	Am-243 錒	

□：存量減少，在步驟1排除之核種（13個核種）

□：存量減少，在步驟3排除之核種（10個核種）

□：將從核子反應爐等移至污染水的狀態，配合實際狀態重新檢視的結果，在步驟4、5排除之核種（16個核種）

均半核任
小衰種一
於期之
1年

□：根據選定流程，為防萬一追加之核種（5個核種）

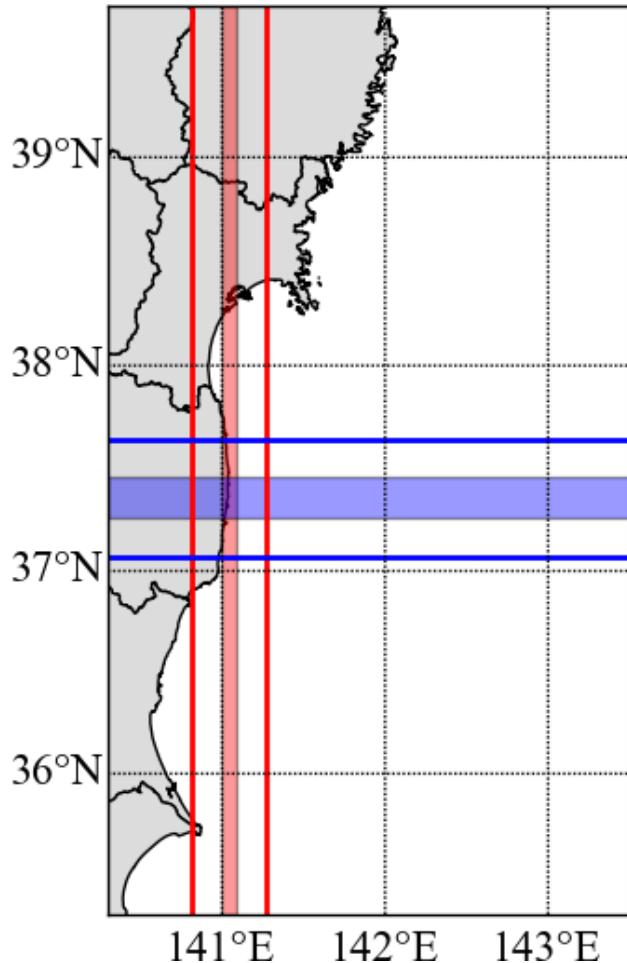
【參考】使用於評估的儲槽群之測量與評估對象核種及濃度

■ 對所有核種濃度，在事故發生12年後之2023年3月時進行半衰期補正。

	對象核種	告示濃度限度 (貝克/公升)	K4儲槽組的輻射源項		J1-C儲槽組的輻射源項		J1-G儲槽組的輻射源項	
			處理水濃度 (貝克/公升)	告示濃度比	處理水濃度 (貝克/公升)	告示濃度比	處理水濃度 (貝克/公升)	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
			告示濃度比總和	2.6E-01	告示濃度比總和	2.1E-01	告示濃度比總和	1.0E-01

在環境中擴散、移動 (計算在海域中的擴散)

在重現福島第一核電廠事故後的海水中銫濃度之計算時，使用已確認重現性的模式。
此外，更對核電廠鄰近海域提高解析度並進行計算，以利詳細模擬。



- 將區域海洋模式 (Regional Ocean Modeling System: ROMS) 適用於福島外海
- 海域的流動資料
 - 使用在海面驅動力中插入氣象廳短期氣象預測資料之資料^[1]
 - 使用海洋的模式再分析資料 (JCOPE2^[2]) ，作為外海的邊界條件及資料同化*之原始資料
- 模式範圍：將北緯35.30 ~ 39.71度、東經140.30 ~ 143.50度 (490公里 × 270公里) 、發電廠周邊南北約22.5公里 × 東西約8.4公里的海域，分階段提高解析度
 - 解析度 (整體)：南北約925公尺 x 東西約735公尺 (約1公里) 、鉛直方向30層
 - 解析度 (鄰近)：南北約185公尺 x 東西約147公尺 (約200公尺) 、鉛直方向30層 (左圖紅線與藍線交叉處的海域)
- 氣象、海象資料
 - 以2014年及2019年此2年分實施

*資料同化：將實測資料導入數值模擬的手法。也稱為納進 (nudging) 。

[1] 橋本 篤, 平口 博丸, 豐田 康嗣, 中屋 耕, “伴隨全球暖化之日本氣候變化預測 (其1) -對氣象預測、解析系統 NuWFAS長期氣候預測之適用-,” 電力中央研究所報告, 2010.

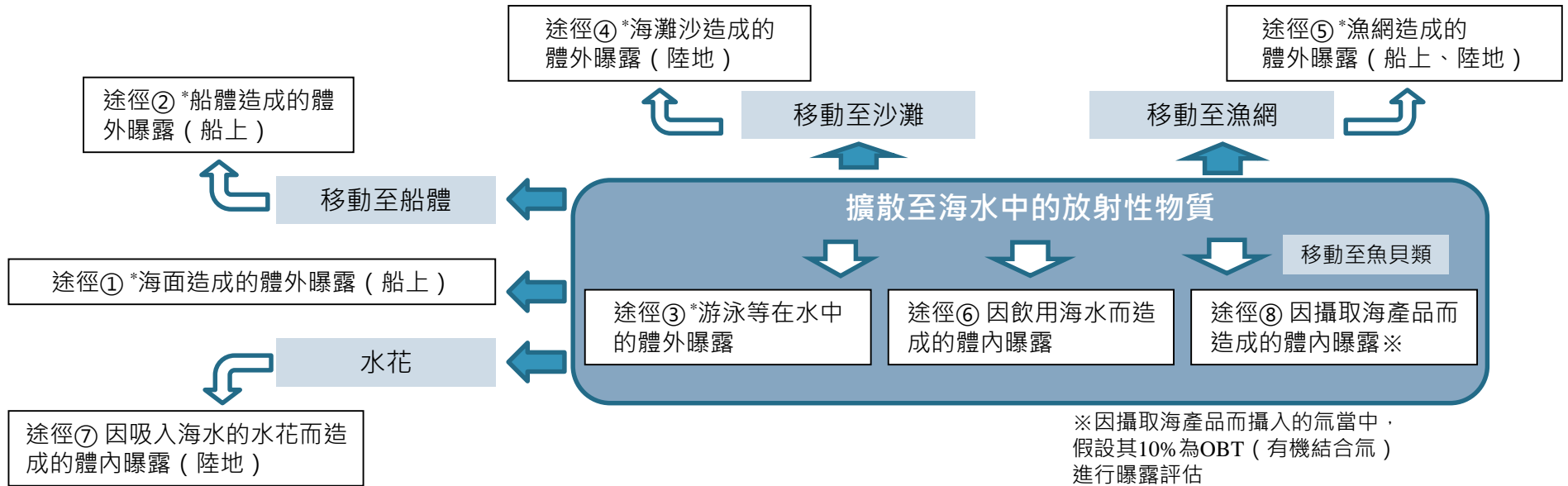
[2] Y.Miyazawa, R.Zhang, X.Guo, H.Tamura, D.Ambe, J.-S.Lee, A.Okuno, H.Yoshinari, T.Setou, and K.Komatsu,, “Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis,” 2009.

找出曝露途徑 (評估模式)

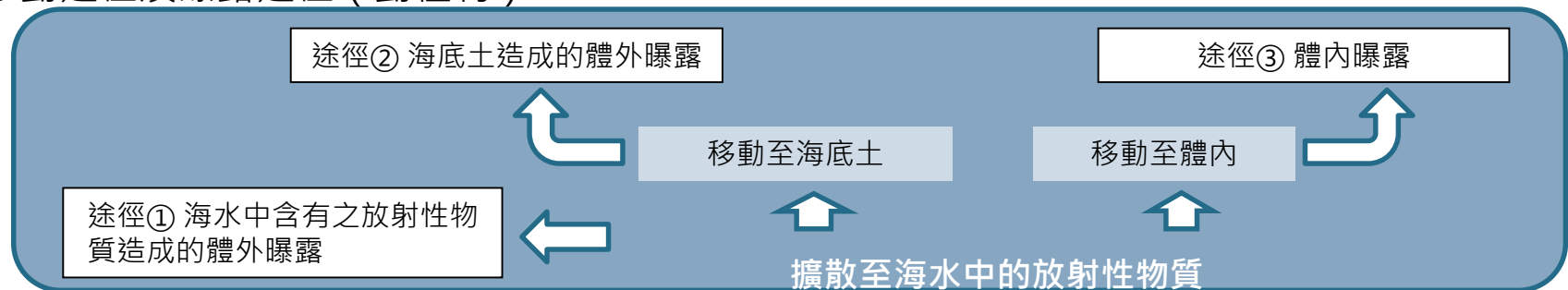
(1) 移動途徑及曝露途徑 (人體曝露)

- 參考IAEA安全標準系列與日本國內事例等進行設定 (選定過程等刊載於附加資料VI「關於評估對象以外之移動途徑、曝露途徑」)

※關於體外曝露・由於預期放射性物質在稀釋排放下的影響輕微・僅以 γ 射線作為評估對象 (*的途徑)



(2) 移動途徑及曝露途徑 (動植物)



在環境中擴散、移動（計算評估用放射性物質濃度）

- 全年當中均等排放氙，並使用全年實際氣象、海象資料，計算海域的氙濃度。
- 以發電廠周邊10公里×10公里的領域，計算氙的全年平均濃度。
- 將游泳等在水中造成的體外曝露、海灘沙造成的體外曝露、因飲用海水而造成的體內曝露，以及因吸入海水的水花而造成的體內曝露，視為滯留沙灘時的曝露，重新檢視評估地點。
- 對於其他曝露途徑，則以發電廠周邊10公里×10公里的領域實施評估。
 - 各自計算上層（海面、船體造成的體外曝露）、全層（漁網造成的體外曝露、因攝取海產品而造成的體內曝露）、下層（動植物的曝露）。
 - 從計算出的氙濃度計算排放量之比例，再用以計算其他63個核種的濃度。
- 此外，也要評估因評估對象的海域範圍所造成之結果誤差，因此也會針對5公里×5公里的範圍及20公里×10公里的範圍實施曝露評估（刊載於附加資料XII「關於使用於曝露評估的海水濃度評估範圍所造成之影響」）



* 共同漁業權非設定區域

使用於劑量評估的海水濃度評估地點

資料來源：由東京電力控股株式會社根據地理院地圖（電子國土Web）製作
<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>

※此外，對於氙以外的核種，也評估為會以溶於海水中的狀態擴散、移動。

設定作為代表之個人及標準動植物

(1) 作為代表之個人 (人體曝露)

- 生活習慣 (體外曝露) 依據「關於發電用輕水式反應爐設施之安全審查中的一般大眾劑量評估」進行設定。
 - 全年有120日 (2,880小時) 從事漁業工作，其中80日 (1,920小時) 在漁網附近進行作業。
 - 全年有500小時滯留海岸，96小時游泳。
- 海產品之全年食用量 (體內曝露)，係從最新的食品攝取資料當中進行2種評估：平均攝取量與多量攝取魚貝類者的攝取量 (平均+2 σ *)。

表6-1-13 平均攝取海產品的個人之攝取量 (g / 日)

(以厚生勞動省2019年國民健康與營養調查[6]為標準設定)

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

表6-1-14 多量攝取海產品的個人之攝取量 (g / 日)

(以厚生勞動省2019年國民健康與營養調查[6]為標準設定)

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

(2) 標準動植物 (環境防護)

從ICRP Pub.136**所示之海洋環境標準動植物當中，選定標準扁魚、標準蟹、標準褐藻。

- 扁魚：比目魚、鰈魚類廣泛棲息於周邊海域中，為重要的試驗作業對象魚。
- 蟹：細點圓趾蟹與三疣梭子蟹等廣泛棲息於周邊海域中。
- 褐藻類：馬尾藻類與荒布廣泛分布於周邊海域中。

* σ ：標準差

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

評估作為代表之個人的劑量

體外曝露 (途徑①②③④⑤)

- 以船舶移動或水中作業時，海水中輻射造成的曝露 (途徑①③)

$$\text{曝露量} = \text{有效劑量轉換係數} \times \text{海水中放射性物質濃度}$$

- 從海水中移動至船體與沙灘等之放射性物質的輻射所造成的曝露 (途徑②④⑤)

$$\text{曝露量} = \text{有效劑量轉換係數} \times \text{移動係數} \times \text{海水中放射性物質濃度}$$

- 顯示從各放射性物質1貝克 / 公升起人體所受之輻射劑量的有效劑量轉換係數，使用廢止措施工程環境影響手冊*1所訂定之係數。
- 顯示海水中所含有之各放射性物質從1貝克 / 公升起，有多少放射性物質移動至船體與沙灘等處的移動係數，主要使用六處再處理工廠之許可認可文件*2中訂定之係數。僅沙灘移動係數使用原原子能安全委員會方針類*3中訂定之係數。

*1 「發電用核子反應爐廢止措施工程環境影響評估技術調查—環境影響評估參數調查研究 (2006年度經濟產業省委託調查) 附加資料廢止措施工程環境影響評估手冊」，一般財團法人電力中央研究所

*2 「六事業所再處理事業指定申請書」，日本原燃服務株式會社

*3 「關於發電用輕水式反應爐設施之安全審查中的一般大眾劑量評估」，原子能安全委員會

評估作為代表之個人的劑量

體內曝露 (途徑⑥⑦⑧)

$$\text{曝露量} = \text{有效劑量係數} \times \text{攝取率}$$

- 游泳中等誤食海水時的攝取率設定為0.2公升 / 小時 (途徑⑥)
- 在海灘吸入波浪造成的水花時的攝取率 (途徑⑦)

$$\text{攝取率} = \text{海水中放射性物質濃度} \times \text{呼吸率} \times \text{水花的空氣中濃度} \div \text{海水密度}$$

- 呼吸率使用原原子能安全委員會方針類*1中訂定之係數。
- 水花的空氣中濃度使用TECDOC-1759*2中訂定之係數。

- 攝取海產品之相關攝取率 (途徑⑧)

$$\text{攝取率} = \text{海水中放射性物質濃度} \times \text{濃縮係數} \times \text{海產品全年攝取量}$$

- 有效劑量係數使用IAEA GSR Part 3*3中訂定之係數。
- 濃縮係數使用IAEA TRS No.422*4中訂定之魚類、無脊椎動物 (烏賊、章魚除外)、海藻之值。
- 不考慮在海產品市場中，從稀釋或採集至攝取為止之間各放射性物質的衰變。
- 此外，海產品的攝取率依魚類、無脊椎動物 (包含蝦、蟹、烏賊、章魚)、海藻分類計算。

*1 「關於發電用輕水式反應爐設施之安全審查中一般大眾劑量評估」，原子能安全委員會

*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"

評估作為代表之個人的劑量

評估標準（合計體外曝露與體內曝露以評估）

- 與一般大眾之劑量限度「1毫西弗 / 年」比較。
- 2022年2月，原子能管制委員會提出對確認輻射影響評估之看法與評估標準，表示0.05毫西弗 / 年（50微西弗 / 年）相當於IAEA安全標準之劑量約束值，在此見解下，本評估以此數值（0.05毫西弗 / 年）作為劑量約束值進行處理。

追加記載內容：關於氬以外核種之移動、累積評估（第4章）

- 氬的全年排放量以上限值22兆貝克評估。
- 以7年間的擴散模擬計算，確認到每年在海洋中移流、擴散的變動微小。
- 原本需耗時進行的放射性物質移動、濃縮，被評估為立即達到平衡狀態。
 - 本評估為1年之間的曝露評估，但由於長期排放，而成為在環境中放射性物質累積狀態下的評估，我們認為在排放期間不會出現高於此狀態的曝露。

評估標準動植物的劑量率

動植物

- 評估動植物於棲息環境中的劑量率。
- 使用ICRP所提出之標準動植物及劑量換算係數，以下列的算式計算。
- 體外曝露方面，考量海水造成的曝露與海底土造成的曝露。

體內曝露量 = 體內劑量轉換係數 × 海水中放射性物質濃度 × 濃度比 (途徑③)

體外曝露量 = 0.5 × 體外劑量轉換係數 × 海水中放射性物質濃度 (途徑①)

+ 0.5 × 體外劑量轉換係數 × 海水中放射性物質濃度 × 分配係數 (途徑②)

- 體內曝露、體外曝露的劑量換算係數，使用ICRP Pub. 136*¹及BiotaDC*²中訂定之係數。
- 濃度比使用ICRP Pub. 114*³、IAEA TRS-479*⁴及TRS-422*⁵濃縮係數中訂定之數值。
- 分配係數使用IAEA TRS-422中訂定之係數 (2.3.OCEAN MARGIN *K*ds)。

評估標準

- 與ICRP在Pub.124*⁶中提出之導出參考基準 (DCRL) *⁷比較。

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

*2 ICRP BiotaDC Program 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"

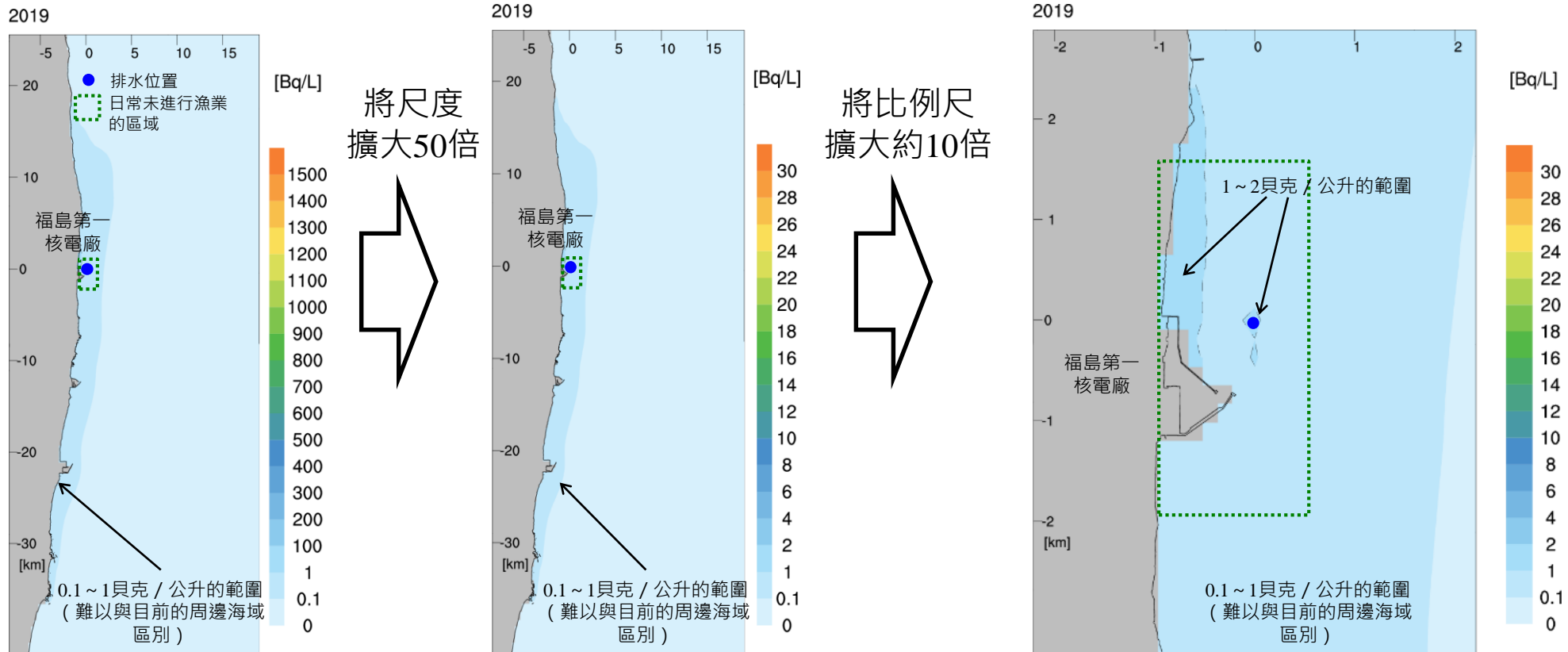
*7 導出參考基準 (Derived Consideration Reference Level, DCRL) : ICRP所提倡之依各生物種所訂定之具有個位數幅度的劑量率範圍。超過此範圍時，為必須考量其影響的劑量率基準。

1. 作為評估前提之排放方法
2. 評估方法
- 3. 評估結果**
4. 參考

海洋的擴散模擬結果

使用2019年的氣象、海象資料進行評估的結果，較目前周邊海域海水所含有的氚濃度 (0.1 ~ 1貝克 / 公升*) 評估為濃度更高的範圍 (虛線內側的範圍)，維持在發電廠周邊的2~3公里範圍。

※WHO飲用水水質標準10,000貝克 / 公升的10萬分之1 ~ 1萬分之1



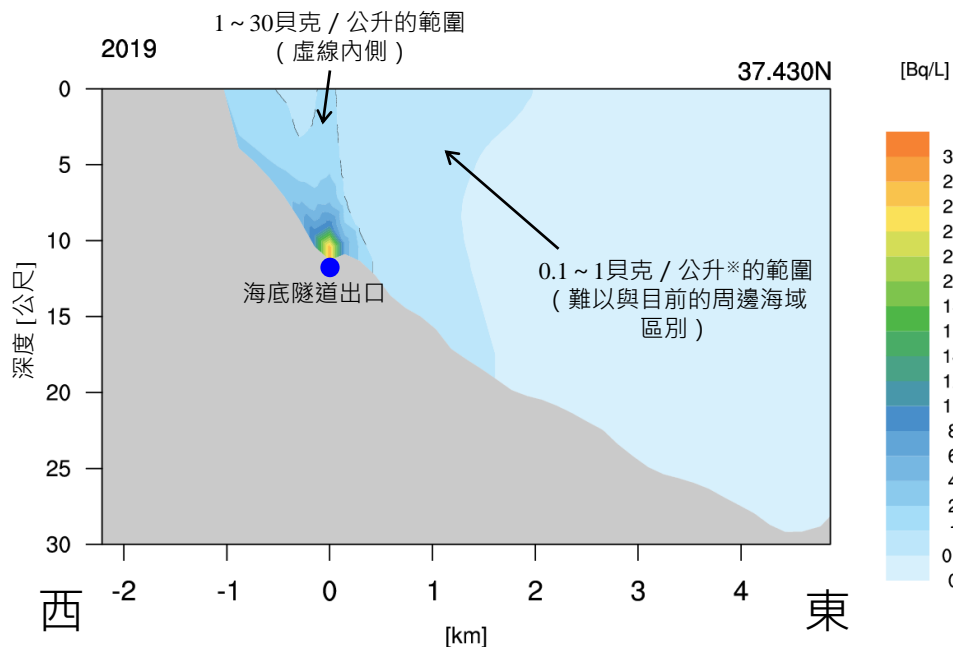
福島縣外海擴大圖
(以最大尺度30貝克 / 公升製圖)

核電廠周邊擴大圖
(以最大尺度30貝克 / 公升製圖)

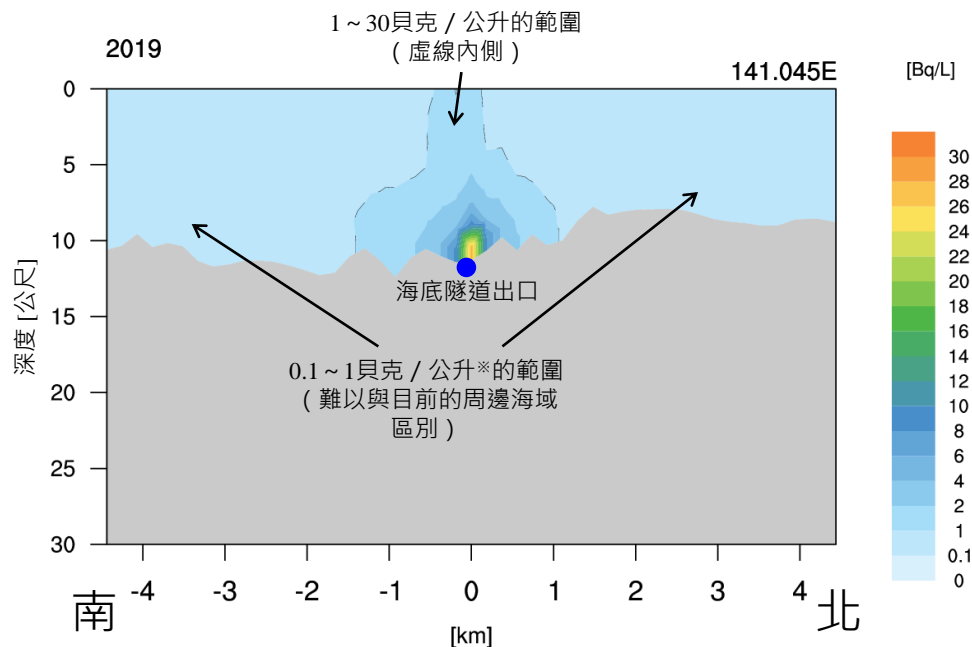
海洋的擴散模擬結果 (隧道出口周邊)

在擴散前的隧道出口周邊，濃度迅速降低。

此外，大幅低於遵循ICRP建議所訂定之日本國內管制標準 (6萬貝克 / 公升) 與WHO飲用水水質標準 (1萬貝克 / 公升)。



隧道出口東西剖面圖
(以最大尺度30貝克 / 公升製圖)

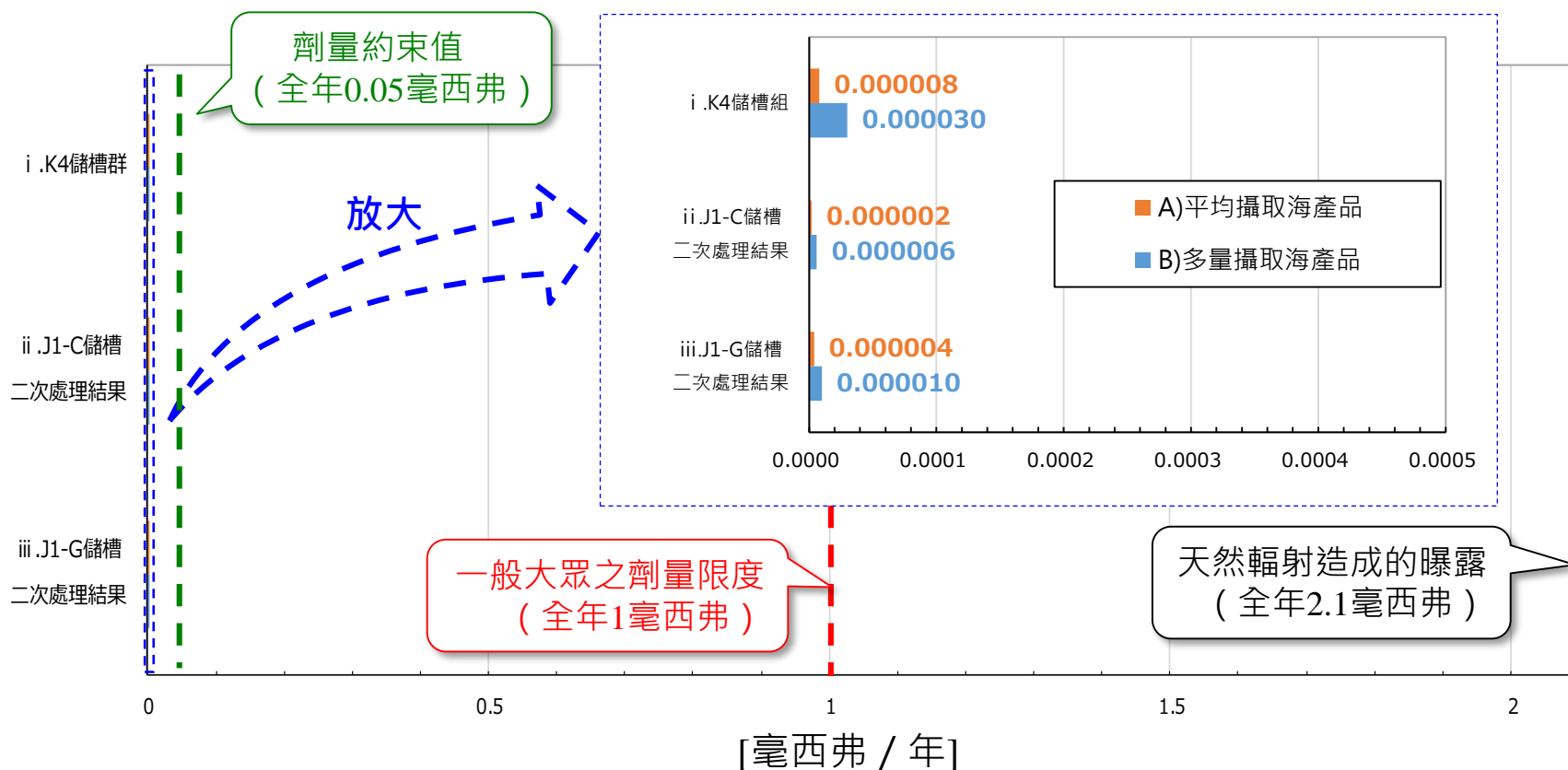


隧道出口南北剖面圖
(以最大尺度30貝克 / 公升製圖)

※ WHO飲用水水質標準10,000貝克 / 公升的10萬分之1 ~ 1萬分之1

人體曝露評估結果 (建設階段)

- 為一般大眾之劑量限度 (全年1毫西弗) 的50萬分之1 ~ 約3萬分之1，與相當於劑量約束值的日本國內核電廠之劑量目標值 (全年0.05毫西弗) 比較，則為其2萬5千分之1 ~ 約1700分之1。



(註) 僅顯示成人之結果作為代表。此評估對於之前未曾檢測出的未檢測出核種，也假設其以偵測下限值存在，並進行試算。此外，此評估為現在的結果，因應今後的商議進度與公司內外之審查結果等，可能會更新評估。

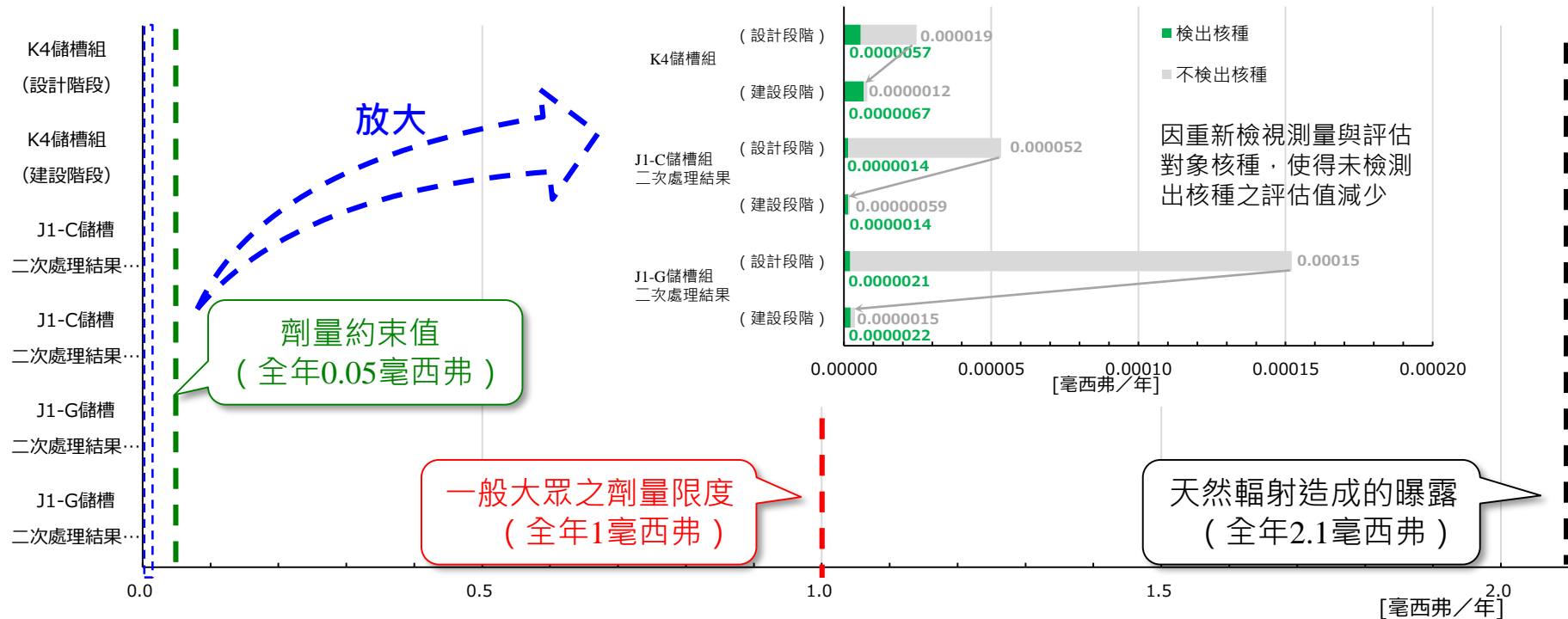
因重新檢視輻射源項對評估值造成之影響

- 在設計階段的評估當中，「未檢測出核種」之貢獻占其中大部分，但伴隨測量與評估對象核種的重新檢視，輻射源項變更為30個核種後之結果，「未檢測出核種」之貢獻減少，評估結果更為降低。

- ✓ 今後，每年將進行1次左右依據較一般更低之偵測下限值進行的測量，藉此致力於掌握未檢測出核種所造成之影響的水準。

K4：降低偵測下限值之詳細分析
J1-C, J1-G:可持續運用的偵測下限值

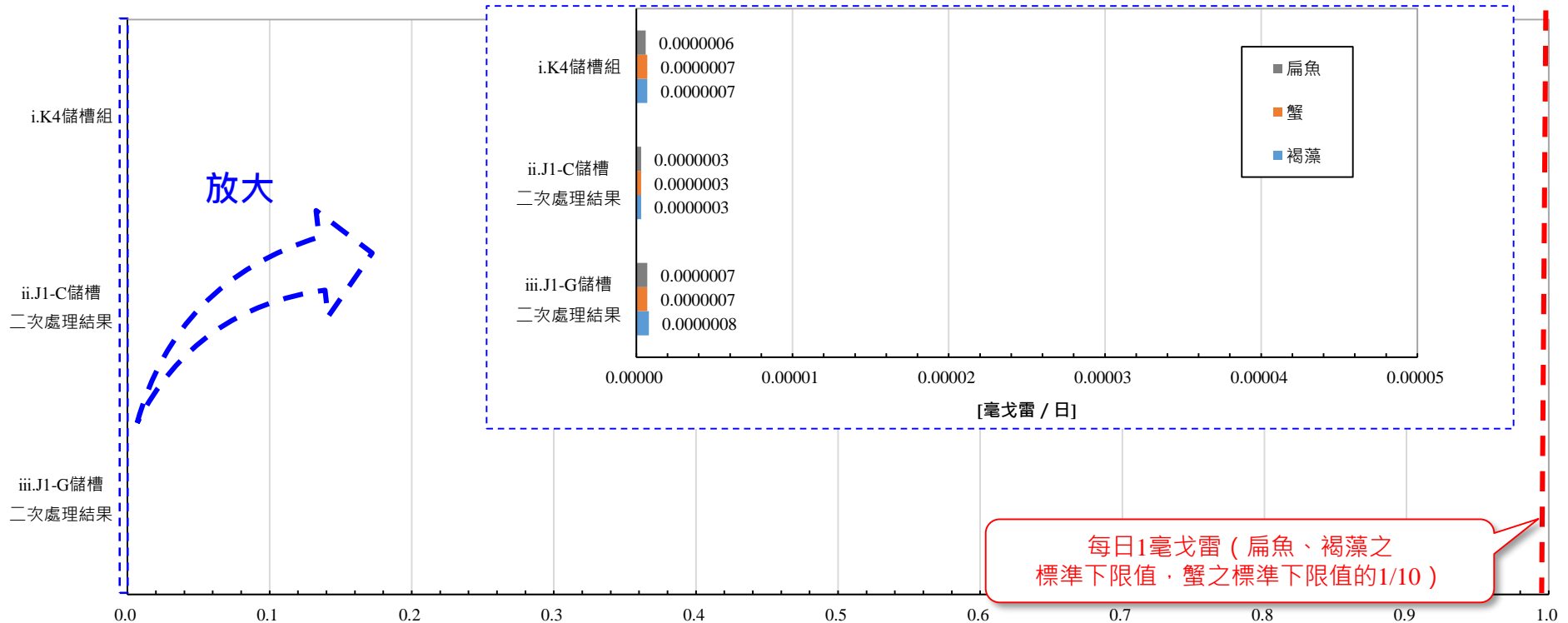
曝露中未檢測出核種之貢獻 (海產平均攝取量)



(註) 僅顯示成人之結果作為代表。此外，此評估為現在的結果，因應今後的商議進度與公司內外之審查結果等，可能會更新評估。

動植物曝露評估結果 (建設階段)

- 相對於作為評估上標準的導出參考基準* (扁魚1~10毫戈雷** / 日、蟹10~100毫戈雷 / 日、褐藻1~10毫戈雷 / 日) 之下限值，約為其330萬分之1~125萬分之1 (蟹約為3300萬分之1~約1250萬分之1)。



(註) 此評估對於之前未曾檢測出的未檢測出核種，也假設其以偵測下限值存在，並進行試算。此外，此評估為現在的結果，因應今後的商議進度與公司內外之審查結果等，可能會更新評估。

* 導出參考基準 (Derived Consideration Reference Level, DCRL)：ICRP所提倡之依各生物種所訂定之具有個位數幅度的劑量率範圍。超過此範圍時，為必須考量其影響的劑量率基準。

** 戈雷：顯示物質的吸收劑量 (吸收的能量量) 之單位，西弗則為顯示人體受到輻射造成之影響大小的單位。正確來說西弗=修正係數×戈雷，但在γ射線、β射線則幾乎為同等

潛在曝露之評估條件

- 如表所示，選定案例1：管線外洩、案例2：儲槽破損之2項案例作為可能造成潛在曝露的現象，根據所設定之排放劇本實施評估。
- 移動途徑、曝露途徑、作為代表之個人的特性，基本上與一般狀況時相同。

評估步驟	建設階段評估	設計階段評估
選定劇本	案例1：因管線外洩，以每日500立方公尺的規模漏出20日 案例2：因儲槽破損，以每日30000立方公尺的規模漏出	同左
輻射源項	依據實測值的輻射源項 (包含氬在內的30個核種)	依據實測值的輻射源項 (包含氬在內的64個核種)
移動、曝露途徑	與一般狀況時的曝露相同	同左
作為代表之個人	在一般生活當中於沙灘評估地點曝露，也考量體內曝露	同左

*潛在曝露：未預測到將確實發生，但因事故或不確定之單一現象抑或連續現象，而產生可能性之曝露 (IAEA GSR Part3 para.1.20(a))

潛在曝露之評估結果

- 對於可能造成潛在曝露的2套劇本進行評估，呈現出事故時的標準值將大幅低於5mSv*之結果。

*mSv：毫西弗

評估條件	輻射源項之核種組成	依據實測值的輻射源項 () 內為設計階段的數值					
		i.K4儲槽組		ii.J1-C儲槽二次處理結果		iii.J1-G儲槽二次處理結果	
		案例1	案例2	案例1	案例2	案例1	案例2
體外曝露 (mSv*)	海面	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)
	船體	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)
	游泳中	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)
	海灘沙	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)
體內曝露 (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)
	吸入水花	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)
	攝取海產 (多量時)	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)
事故時曝露標準值：5mSv*							

【參考】對人體之輻射環境影響評估詳細結果

*mSv：毫西弗

評估條件	輻射源項之核種組成	依據實測值的輻射源項					
		i.K4儲槽組		ii.J1-C儲槽二次處理結果		iii.J1-G儲槽二次處理結果	
		A:平均	B:多量	A:平均	B:多量	A:平均	B:多量
體外曝 露 (mSv* /年)	海產品攝取量	A:平均	B:多量	A:平均	B:多量	A:平均	B:多量
	海面	4.6E-10 (6.5E-09)		1.7E-10 (1.7E-08)		3.7E-10 (4.7E-08)	
	船體	4.9E-10 (4.8E-09)		1.8E-10 (1.2E-08)		3.7E-10 (3.3E-08)	
	游泳中	3.2E-10 (4.5E-09)		1.2E-10 (1.2E-08)		2.5E-10 (3.2E-08)	
	海灘沙	5.4E-07 (7.8E-06)		2.0E-07 (2.1E-05)		4.3E-07 (5.6E-05)	
體內曝 露 (mSv* /年)	漁網	1.1E-07 (1.6E-06)		3.9E-08 (4.3E-06)		8.3E-08 (1.2E-05)	
	飲水	3.4E-07 (3.3E-07)		3.1E-07 (3.1E-07)		3.1E-07 (3.2E-07)	
	吸入水花	9.2E-08 (9.3E-08)		1.9E-07 (2.0E-07)		3.8E-07 (4.0E-07)	
合計 (mSv* / 年)	攝取海產	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)
		8E-06 (3E-05)	3E-05 (7E-05)	2E-06 (5E-05)	6E-06 (1E-04)	4E-06 (1E-04)	1E-05 (4E-04)
一般大眾之劑量限度：1mSv* / 年 相當於劑量約束值的日本國內核電廠之劑量目標值：0.05mSv* / 年							

【參考】動植物輻射環境影響評估詳細結果

*mGy：毫戈雷

() 內為設計階段的數值

評估 案例		依據實測值的輻射源項		
		i. K4儲槽組	ii. J1-C儲槽組	iii. J1-G儲槽組
曝露 (mGy* / 日)	扁魚	6E-07 (2E-05)	3E-07 (2E-05)	7E-07 (6E-05)
	蟹	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)

導出參考基準 (DCRL)

扁魚：1-10 mGy* / 日

蟹：10-100mGy* / 日

褐藻：1-10mGy* / 日

1. 作為評估前提之排放方法
2. 評估方法
3. 評估結果
- 4. 參考**

【參考】為確保安全之設備整體樣貌

資料來源：由東京電力控股株式會社根據地理院地圖（電子國土Web）製作
<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>

二次處理設備（新設逆滲透膜裝置）

氚以外核種之告示濃度比總和對「1~10」的處理途中水進行二次處理

二次處理設備（ALPS）

氚以外核種之告示濃度比總和對「1以上」的處理途中水進行二次處理

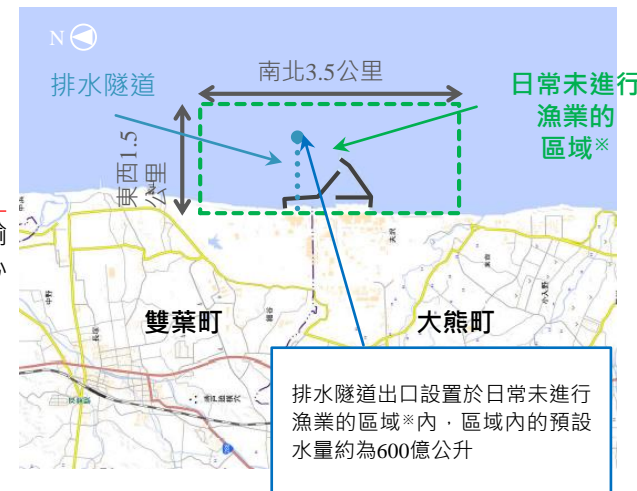
測量、確認用設備（K4儲槽組）

由3組設備所構成，各別負責接收、測量與確認、排放工程，在測量與確認工程中，採集因循環、攪拌而均質化的水，並進行分析（約1萬立方公尺×3組）

ALPS處理水輸送泵

防潮堤

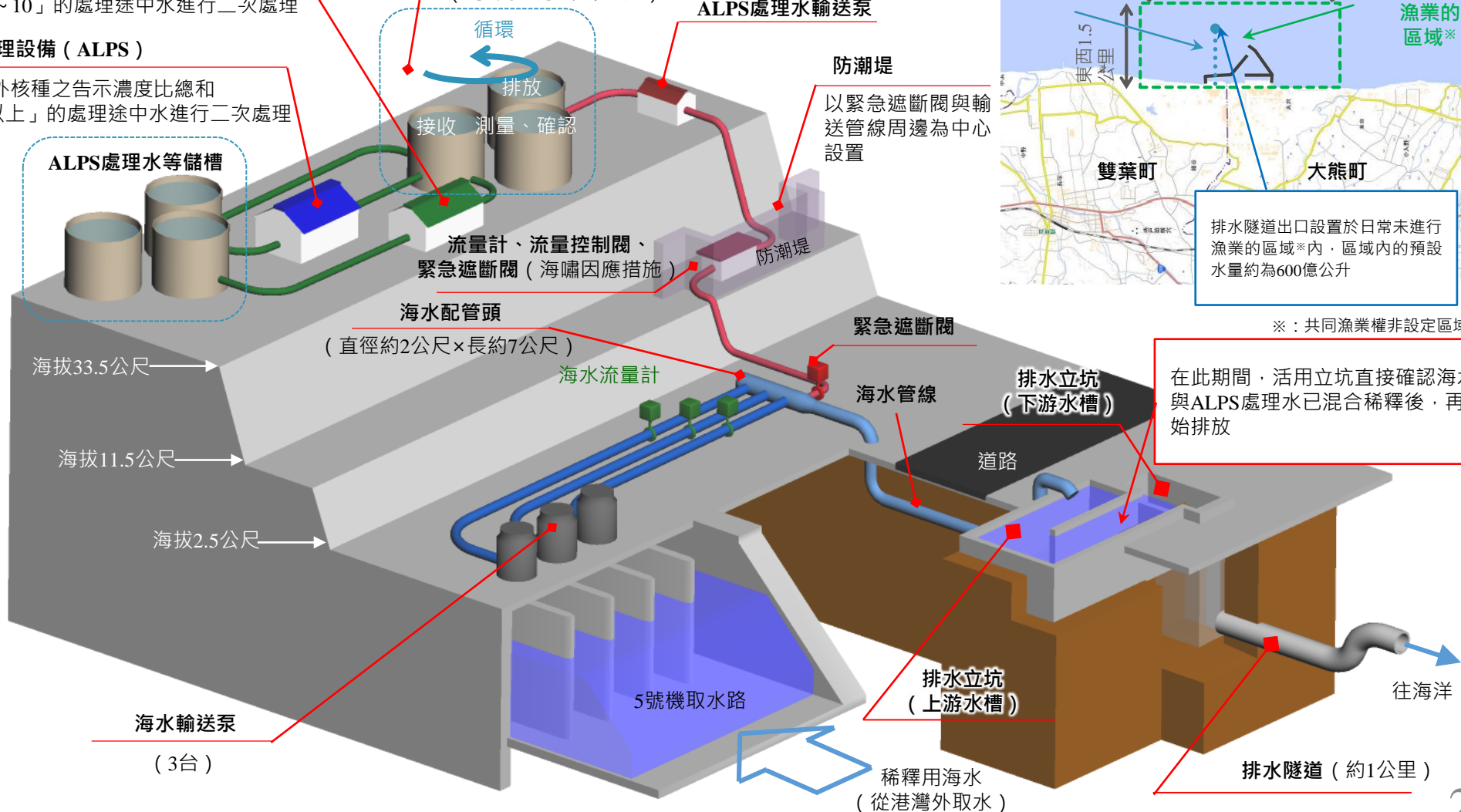
以緊急遮斷閥與輸送管線周邊為中心設置



排水隧道出口設置於日常未進行漁業的區域*內，區域內的預設水量約為600億公升

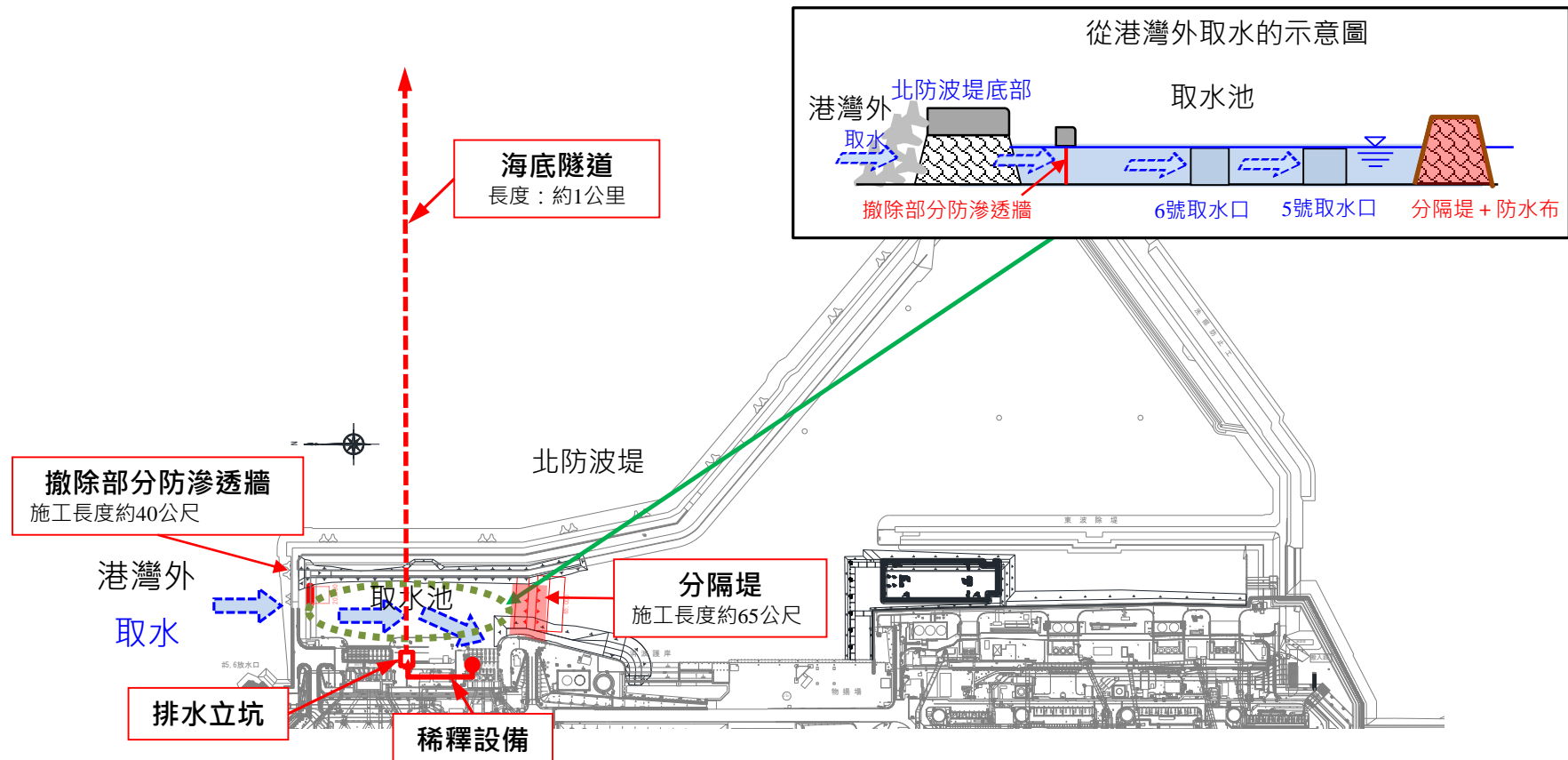
*：共同漁業權非設定區域

在此期間，活用立坑直接確認海水與ALPS處理水已混合稀釋後，再開始排放



【參考】港灣設計

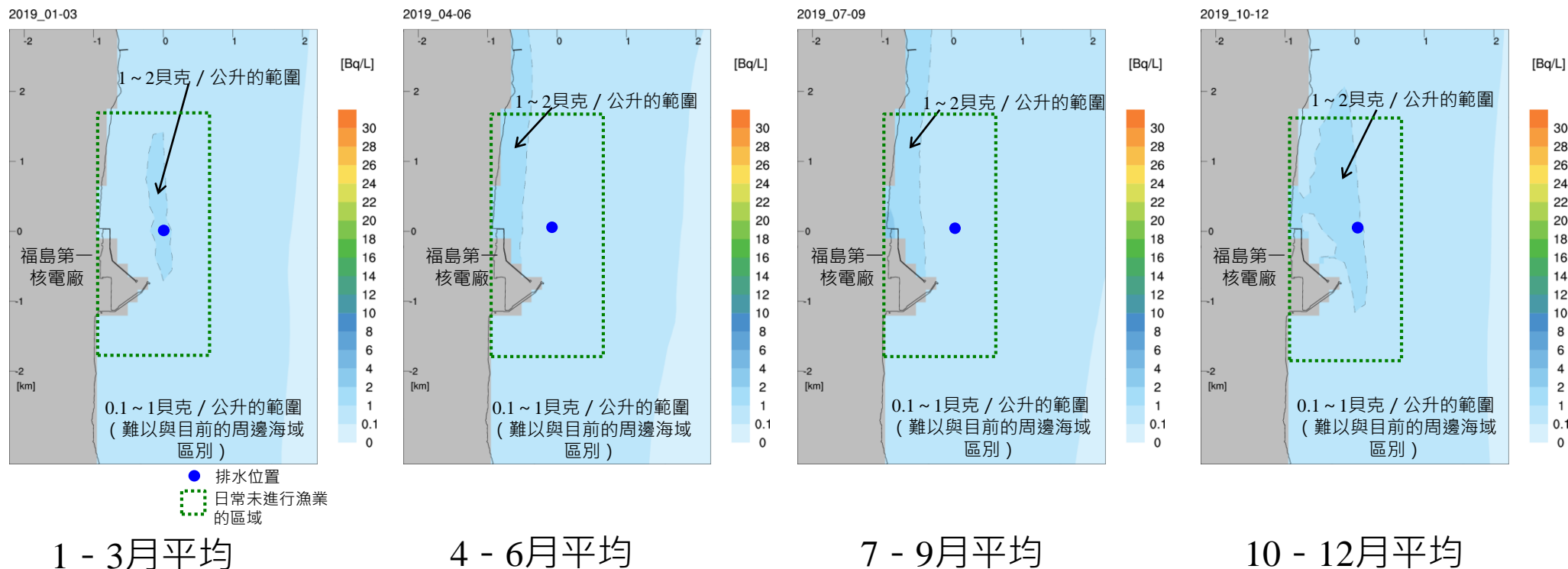
- 改造北防波堤的一部分，取得港灣外的海水作為稀釋用，以分隔堤將之與港灣內部分離，使港灣內的海水不會直接與稀釋用海水混合。
- 自距離沿岸約1公里處開始排水，藉以形成使海水不易再循環（不易再度被取用為稀釋用海水）的設計。



【參考】海洋的擴散模擬結果 (季節平均)

較目前周邊海域海水所含有的氚濃度 (0.1~1貝克/公升*) 評估為濃度更高的範圍 (虛線內側的範圍)，以季節平均來看，亦維持在發電廠周邊。

※WHO飲用水水質標準10,000貝克/公升的10萬分之1~1萬分之1

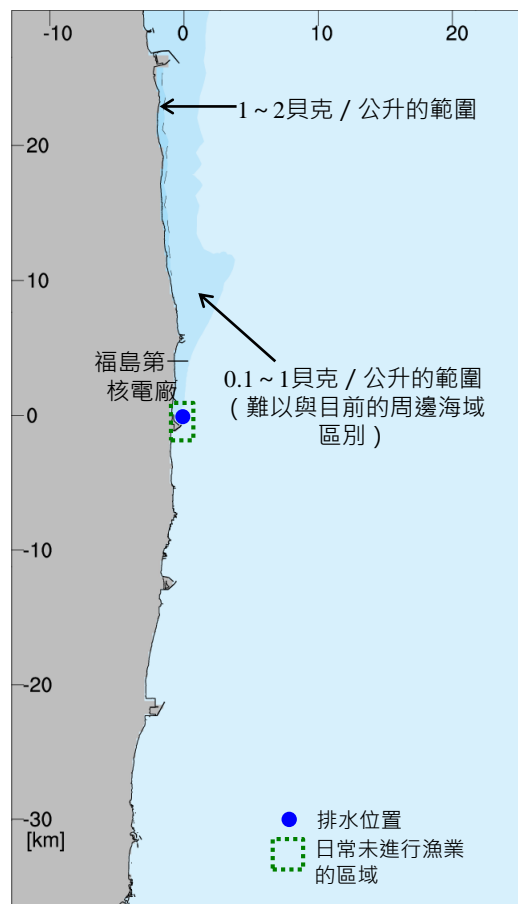


【參考】海洋的擴散模擬結果 (擴散傾向)

在模擬結果當中，較目前周邊海域海水所含有的氚濃度 (0.1~1貝克 / 公升※) 評估為濃度更高的範圍 (超過1貝克 / 公升的範圍)，即使在擴張至最大的當日，亦維持在排放口南北30公里左右的範圍。

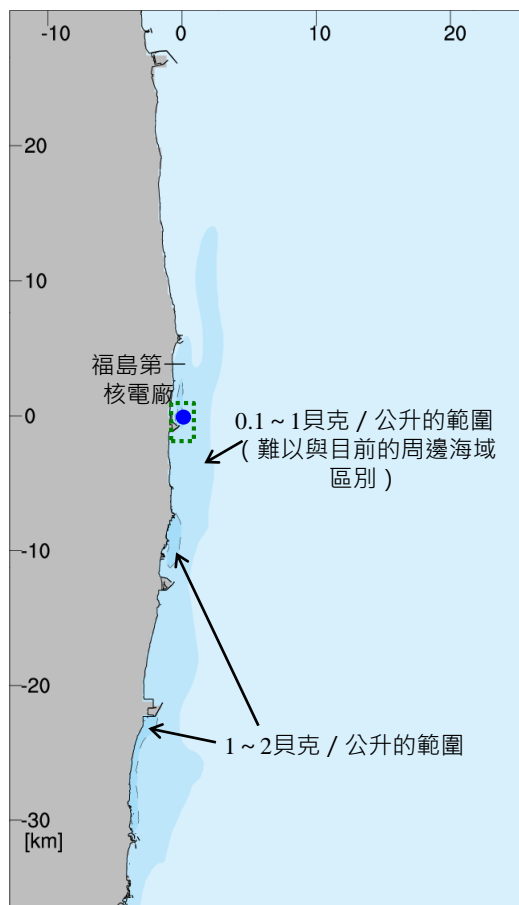
※WHO飲用水水質標準10,000貝克 / 公升的10萬分之1~1萬分之1

20190521



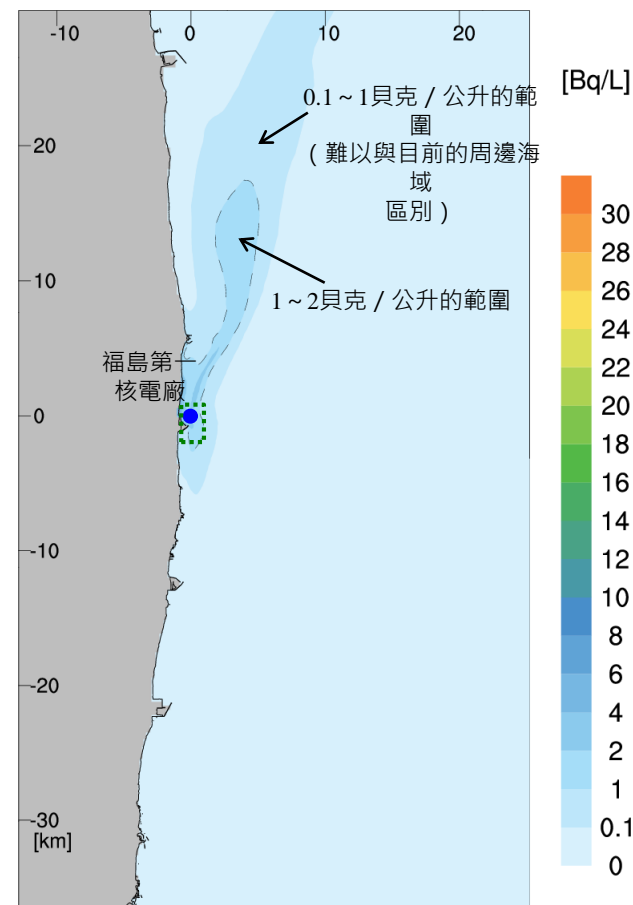
往北擴張最大的情況
(以最大尺度30貝克 / 公升製圖)

20190211



往南擴張最大的情況
(以最大尺度30貝克 / 公升製圖)

20190829



往東擴張最大的情況
(以最大尺度30貝克 / 公升製圖)

【參考】海洋的擴散模擬結果 (擴散傾向)

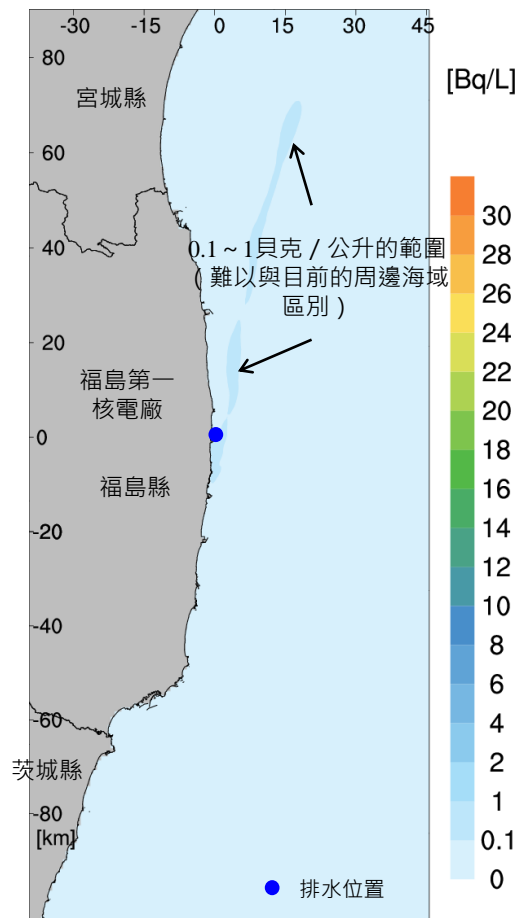
在更進一步的實測下，針對無法與目前周邊海域海水所含有之氚濃度 (0.1~1貝克/公升*) 區別的低濃度 (超過0.1貝克/公升的範圍)，嘗試從模擬結果當中，確認其擴張至最大的當日擴散範圍，則呈現以下傾向。

*WHO飲用水水質標準10,000貝克/公升的10萬分之1~1萬分之1

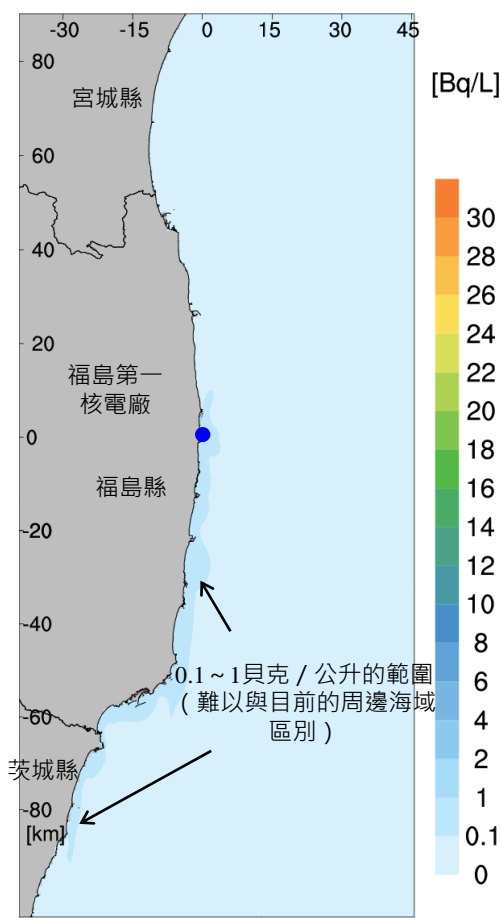
20190827

20191027

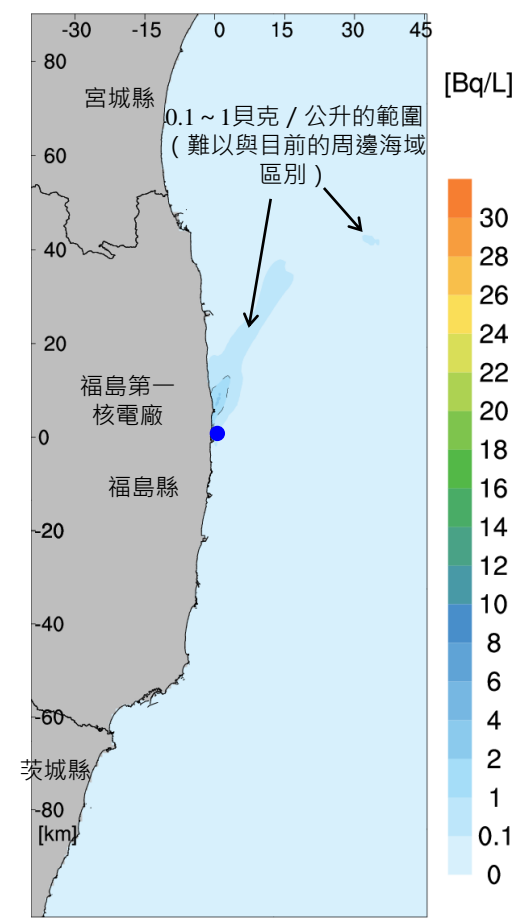
20190806



往北擴張最大的情況
(以最大尺度30貝克/公升製圖)



往南擴張最大的情況
(以最大尺度30貝克/公升製圖)



往東擴張最大的情況
(以最大尺度30貝克/公升製圖)

【參考】排放位置差異造成對擴散之影響的考察

在遵循本次計畫進行擴散模擬的同時，也實施預設以目前的5、6號機排水口位置作為排放位置的沿岸排放之模擬（但此模擬無視取水位置所造成的再循環）。

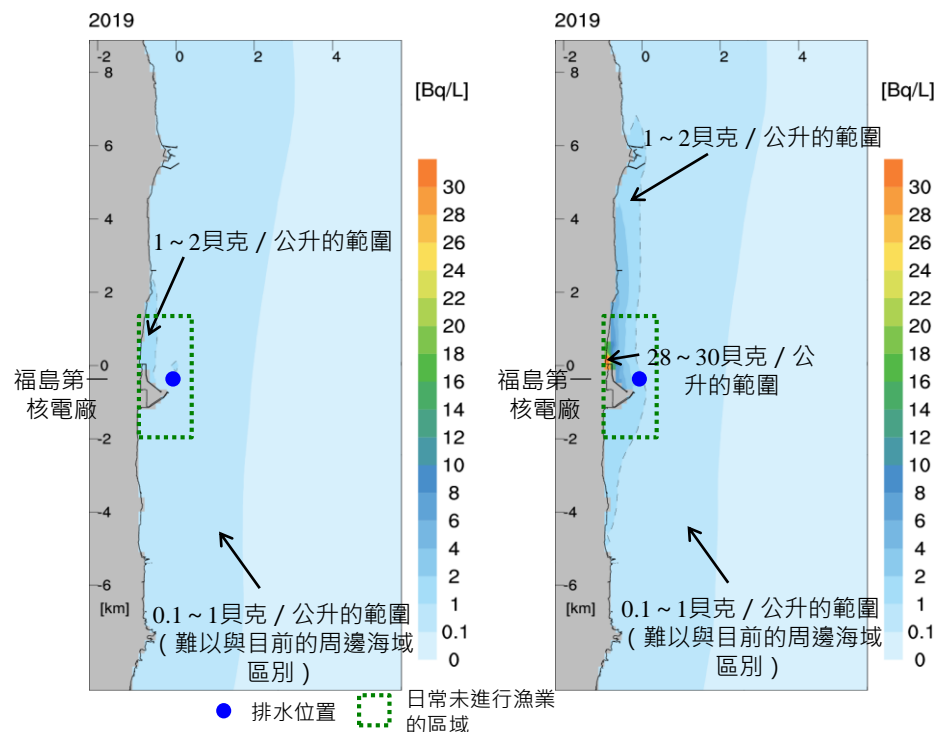
較目前周邊海域海水所含有之氚濃度（0.1~1貝克/公升*）評估為濃度更高的範圍（虛線內側的範圍），在沿岸排放時為發電廠周邊6~7公里的範圍，相對地現行方案（海底隧道）則維持在2~3公里的範圍。

*WHO飲用水水質標準10,000貝克/公升的10萬分之1~1萬分之1

福島縣外海擴大圖

現行方案

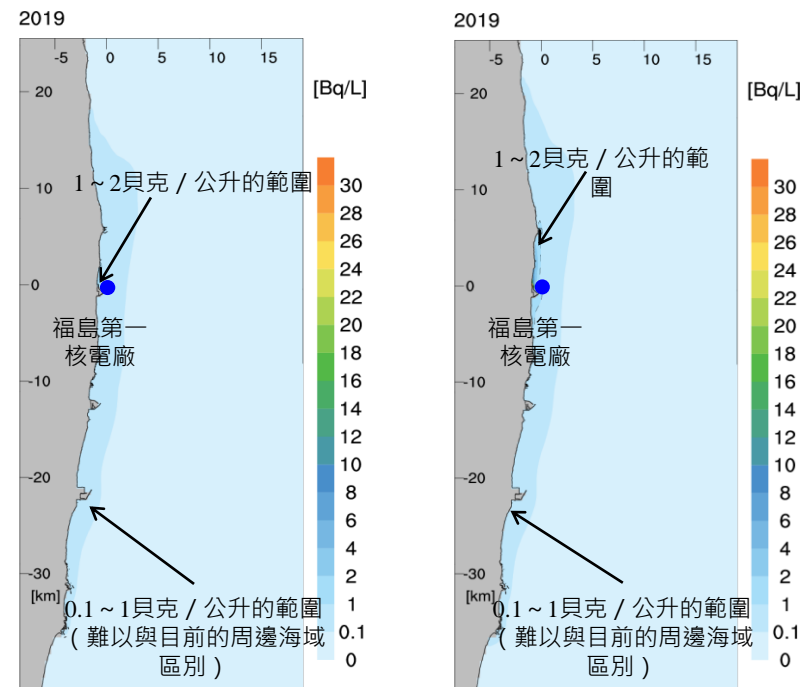
沿岸排放方案



廣域圖

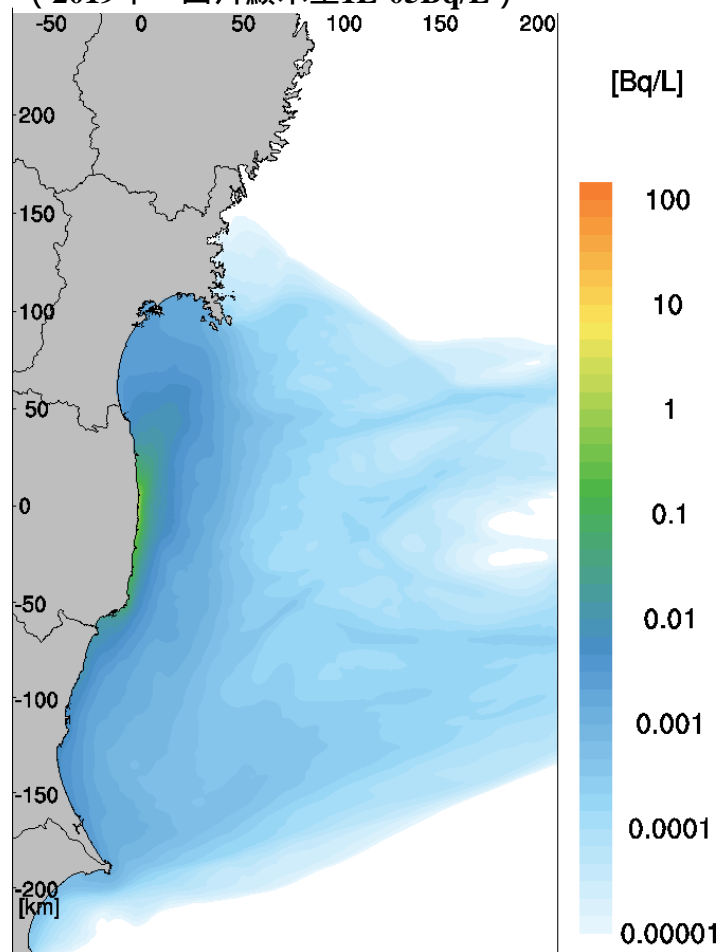
現行方案

沿岸排放方案



【參考】對模擬計算領域外之影響

計算領域整體之全年平均濃度分布圖
(2019年·圖片顯示至 $1E-05Bq/L$)



數據為從發電廠計測之距離[公里]

- 以2019年氣象海象資料所計算之全領域全年平均濃度，以圖示顯示至 $1E-05Bq/L$ 的結果，如左圖所示。
- 在計算範圍的邊界上，2014年~2020年的全年平均濃度最大值，如下表所示均在東側，為 $1.1E-04 \sim 2.6E-04Bq/L$ ，與日本周邊海域的海水中氚濃度（約 $1.0E-01Bq/L$ ）比較，是相當低的數值。
- 依據一般大眾之劑量限度 $1mSv / 年$ 原本就大幅低於劑量約束值 $0.05mSv / 年$ 此一狀況，從發電廠周邊 $10公里 \times 10公里$ 範圍之全年平均濃度所計算之曝露評估結果來看，計算領域之外側將會是此數值以下的濃度，因此我們認為並無評估輻射影響之必要。

各年的模式邊界（南北、東）之全年平均濃度最大值與位置

年	濃度 (Bq/L)	位置 (距離為從發電廠計測之距離)		
		東西	南北	從表層計測之深度
2014	$1.1E-04$	往東約218公里	往南約162公里	約9.0公尺
2015	$2.6E-04$	往東約218公里	往南約102公里	約0.6公尺
2016	$1.4E-04$	往東約218公里	往南約6公里	約5.5公尺
2017	$2.4E-04$	往東約218公里	往南約30公里	約9.0公尺
2018	$1.9E-04$	往東約218公里	往南約97公里	約0.6公尺
2019	$1.6E-04$	往東約218公里	往南約68公里	約1.7公尺
2020	$1.9E-04$	往東約218公里	往南約25公里	約1.7公尺

【參考】對人體及環境之輻射環境影響評估的前提條件

- 氚排放量：全年22兆貝克

評估案例	i · K4儲槽組	ii · J1-C儲槽 二次處理結果	iii · J1-G儲槽 二次處理結果
氚濃度 [Bq/L]	14萬	72萬	24萬
全年ALPS處理水 排放量[m ³ / 年]	16萬	3.1萬	9.2萬

- 考量在海洋的移流、擴散，使用福島第一核電廠周邊10公里×10公里圈內的平均海水濃度進行評估
 - ✓ 使用一般財團法人電力中央研究所適用於福島外海之區域海洋模式「ROMS:Regional Ocean Modeling System」
- 設定以下途徑作為曝露途徑

對人體之輻射環境影響評估	對環境之輻射環境影響評估
<ul style="list-style-type: none"> ✓海面造成的體外曝露 ✓船體造成的體外曝露 ✓游泳中的體外曝露 ✓海灘沙造成的體外曝露 ✓漁網造成的體外曝露 ✓因飲用海水而造成的體內曝露 ✓因吸入海水的水花而造成的體內曝露 ✓因攝取海產品而造成的體內曝露 	<ul style="list-style-type: none"> ✓海水造成的體外曝露 ✓海底堆積物造成的體外曝露 ✓攝入體內的放射性物質造成的體內曝露

【參考】對於主要的IAEA審查結果之因應

IAEA 審查中的評語	本公司之因應
<p>需將評估對象核種中，曝露影響相對較大且半衰期較長的碳14與碘129，應如何進行曝露評估之相關討論，納入輻射環境影響評估報告書。</p>	<p>關於碳14與碘129，由於相較於已排放在環境中的量小等，以全球規模的影響來看，為可以無視的程度，僅進行作為代表之個人的評估，並將此因應追加記載於報告書當中。(第4章(4)及(5))</p>
<p>對於在環境中的放射性核種累積，藉由假設海水與海底土間的平衡狀態，進行數十年後與最高劑量狀態同等之劑量預測，東京電力需明確記載此一事項。</p>	<p>已明確記載了藉由假設海水與海底土間的平衡狀態，使其成為考量到長期累積之評估。(第4章(3))</p>
<p>對於僅攝取在距離發電廠3公里的沙灘地點所捕獲之海產品，需更為明確記載不需假設此案例之理由。</p>	<p>已記載了雖預設在距離發電廠3公里的沙灘地點會有釣魚等所得之漁獲，但以釣魚等方式捕獲的魚貝類，僅為全年中攝取之魚貝類的一部分，且本地點亦為因攝取海產而造成之曝露的10公里×10公里評估對象圈內的一部分，對於所攝取之魚貝類，已保守設定在僅10公里×10公里圈內，因此不需評估。(第6章6-1-2(4))</p>
<p>因有機結合氬(OBT)在環境中的移動與其相關劑量評估會有誤差，需記載考量相關事項後對OBT之影響與誤差之相關評估結果。</p>	<p>已增補了OBT在環境中的行動會有誤差，以及即使出現誤差，因氬所造成的曝露占整體評估值的比例微小，對於整體劑量評估造成之影響非常輕微。(第8章8-2-5及附加資料III)</p>
<p>由於為對模式領域外的影響評估，不僅應記載氬濃度，也要記載碳14與碘129等對劑量造成較大影響的核種在模式邊界的濃度。</p>	<p>在增補領域邊界的碳14與碘129濃度之最大值的同時，亦補充了二者的濃度均較該處海域之背景濃度小，不需包含對更外側領域之模擬。(附加資料VII)</p>
<p>需更進一步充實輻射防護最佳化之相關記載。</p>	<p>已遵循IAEA SF-1、GSR Part3及GSG-9之形式，充實防護最佳化的相關記載。(參考G)</p>