

ALPS処理水海洋放出時の 測定・評価対象核種に係る検討について

2022年10月19日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要
2. ALPS処理水等の核種分析結果について
3. 測定・評価対象核種の選定フローの改定案
4. 核種選定の検討状況

1. 概要

- ALPS処理水中のトリチウム以外の放射性核種の特定制及びその後の測定・評価の対象とする放射性核種の選定の考え方は、ALPS処理水審査会合での議論を踏まえて、7/22に認可された実施計画に、以下の通り記載。

(5) 排水管理の方法

① 排水前の分析

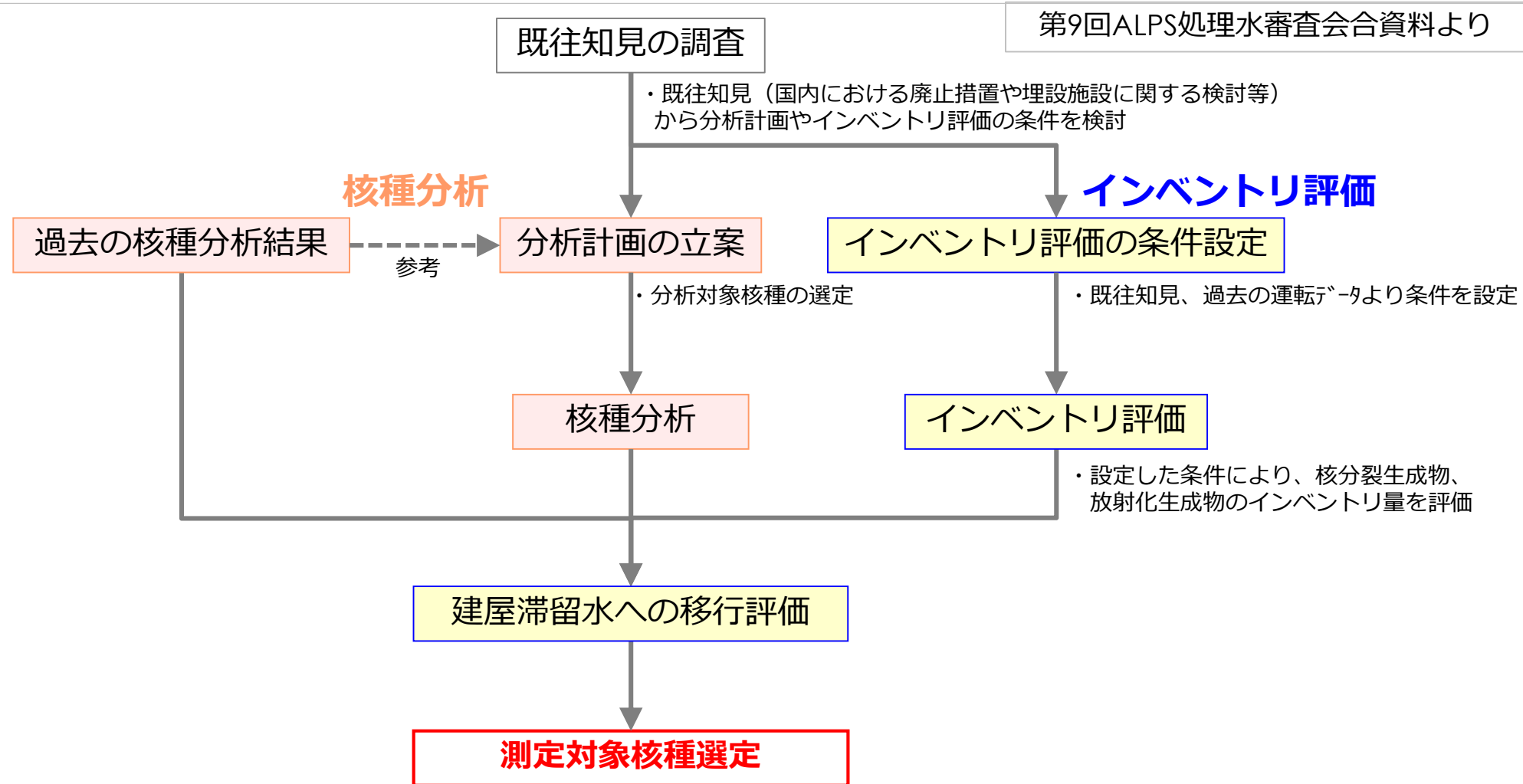
- ・ 多核種除去設備等処理水の主要7核種に炭素14及びテクネチウム99を加えた放射能濃度の分析結果の合計値と全β測定値において、現行の64核種以外の放射性核種の存在を疑わせるようなかい離は認められていないことや、ALPS処理水を海洋放出する時点においては、十分に減衰して存在量が十分少なくなっているALPS除去対象核種も考えられること等から、トリチウム以外の放射性核種の告示濃度限度比総和1未満を満足すると考えている。
- ・ この上で、告示濃度限度比総和1未満を満足することを確実なものとするため、国内における廃止措置や埋設施設に関する知見を踏まえ、汚染水中に有意に存在するか徹底的に検証を実施した上で、測定・評価の対象とする放射性核種を選定する。

(実施計画：Ⅲ-3-2-1-2-6～7より)

- 本資料では、ALPS処理水審査会合後の分析やインベントリ評価の進捗についてご報告する。

【参考】測定・評価対象核種の検討の全体像

- 第9回ALPS処理水審査会合において、測定・評価対象核種の検討の全体像として、既往知見の調査を元に、核種分析とインベントリ評価の2本立てで検討していくことを説明。

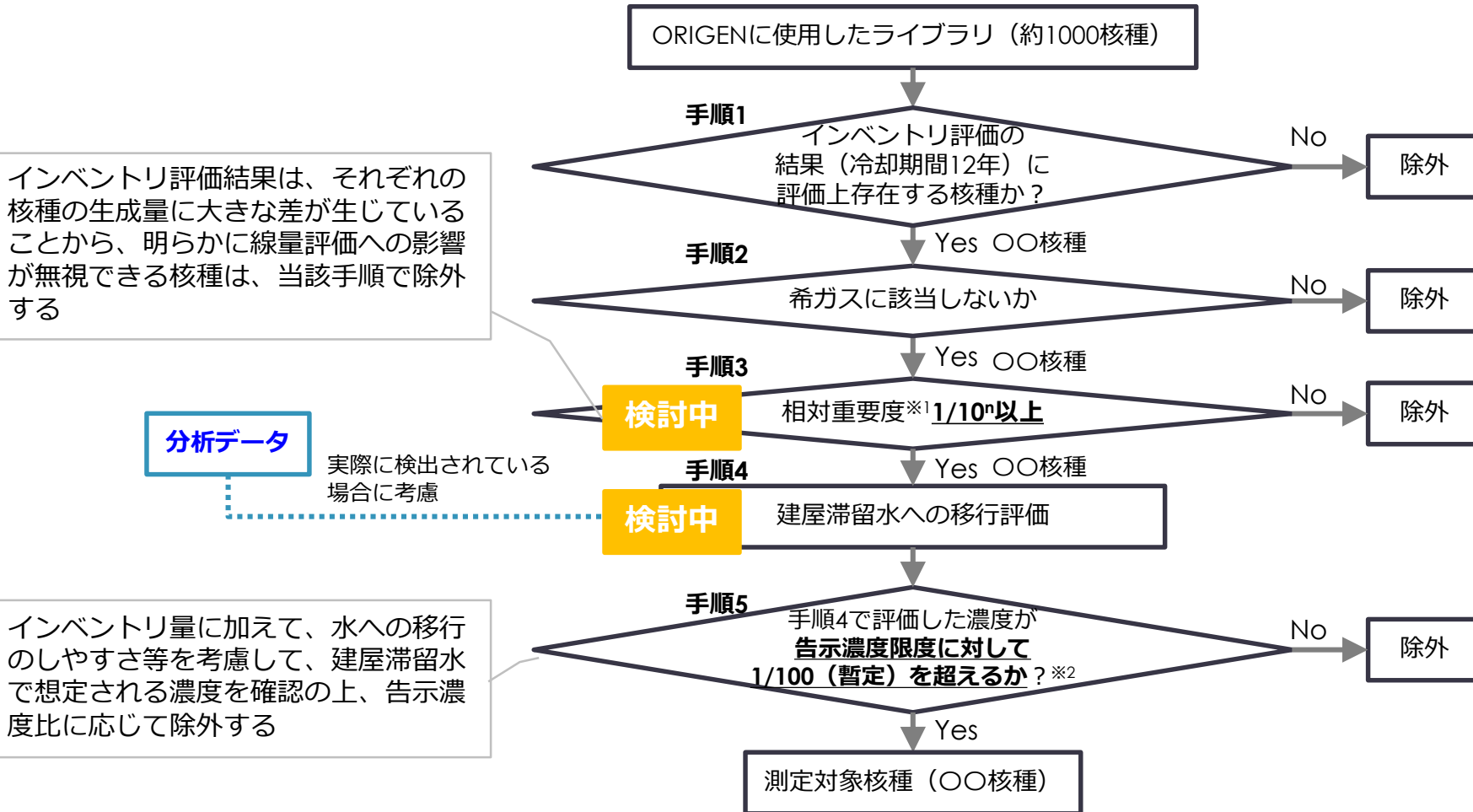


- ・ β ・ γ 核種は、告示濃度限度比を基準に測定対象核種を選定
- ・ α 核種は、全 α で測定を行うことから、全 α の結果に含まれることを確認

【参考】ALPS処理水の測定対象核種選定の考え方（案）

- また、第9回ALPS処理水審査会合では、核種分析とインベントリ評価を行った結果、下図のフローに従い核種を選定していく考え方についても説明。

第9回ALPS処理水審査会合資料より



※1：それぞれの核種のインベントリ量を告示濃度限度で除した値と、その総和に対する比により、線量評価に影響を与える核種を確認

※2：α核種は全αで測定するため、α核種の全Bq数に対して、最も厳しい告示濃度（4Bq/L）に対する比により評価する

2. ALPS処理水等の核種分析結果について

2.1 ALPS処理水等の核種分析結果（速報）の概要

- ALPS処理水等について、これまで当社で測定を実施しているALPS除去対象核種（62核種）、H-3、C-14と、過去にJAEA殿及び当社で分析した20核種があるが、今回改めて廃止措置や埋設施設に関する研究において着目されている核種（下表参照）が、ALPS処理水等に有意に存在するか否か確認した（一部核種については追加分析の位置づけ）。
- 分析の結果、**廃止措置や埋設施設に関する研究で着目されている核種（α核種を含む）は、ALPS処理水において検出されなかった**※。 ※：告示濃度限度の1/100以下で検出限界値未滿、ウランは環境中に含まれる天然ウランを検出

今回の分析核種（下記の核種以外にALPS処理水等に有意に含まれる可能性のあるα核種も確認）

Fe-55	Ni-59	Nb-93m	Mo-93	Sn-121m	Cl-36	Ca-41	Zr-93	Ba-133	Se-79	Pd-107
-------	-------	--------	-------	---------	-------	-------	-------	--------	-------	--------

過去に測定を実施した核種

核分裂生成物：56核種

Rb-86	Sr-89	Sr-90	Y-90	Y-91	Nb-95	Tc-99
Ru-103	Ru-106	Rh-103m	Rh-106	Ag-110m	Cd-113m	Cd-115m
Sn-119m	Sn-123	Sn-126	Sb-124	Sb-125	Te-123m	Te-125m
Te-127	Te-127m	Te-129	Te-129m	I-129	Cs-134	Cs-135
Cs-136	Cs-137	Ba-137m	Ba-140	Ce-141	Ce-144	Pr-144
Pr-144m	Pm-146	Pm-147	Pm-148	Pm-148m	Sm-151	Eu-152
Eu-154	Eu-155	Gd-153	Tb-160	Pu-238	Pu-239	Pu-240
Pu-241	Am-241	Am-242m	Am-243	Cm-242	Cm-243	Cm-244

腐食生成物：6核種

Mn-54
Fe-59
Co-58
Co-60
Ni-63
Zn-65

左記以外の核種：2核種

H-3	C-14
-----	------

64核種以外の核種：20核種

Cl-36	Ca-41	Ni-59
Se-79	Nb-94	Mo-99
Tc-99m	Te-132	I-131
I-132	La-140	U-233
U-234	U-235	U-236
U-238	Np-237	Pu-242
Cm-245	Cm-246	

第9回ALPS処理水審査会合資料より

2.2 ALPS処理水等の核種分析結果（ γ ・ β 核種等）（1/2）

- ALPS処理水等に含まれる核種を確認するため、告示濃度限度の1/100以下まで測定を試み、ALPS処理後においては、いずれの分析結果も告示濃度限度の1/100以下で検出限界値未満であった。
- 建屋滞留水とALPS処理前水では、目視により懸濁物、浮遊物の存在が確認されたため、ろ過を実施した後、ろ液及び残渣（沈殿している可能性が高い元素について実施）を分けて分析を実施。この結果、ほとんどの核種で検出限界値未満であることを確認したものの、ろ液ではNi-59、残渣ではFe-55とNi-59、告示濃度限度の1/100以下で検出されている。

⇒ Feは主に粒子状として存在することを確認。

核種	告示濃度限度 [Bq/L]	試料の種類※1	ALPS処理後			ALPS処理前	建屋滞留水
			K4-A10 タンク水濃度 [Bq/L]	H4-B7 タンク水濃度 [Bq/L]	増設ALPS 処理後水濃度 [Bq/L]	増設ALPS 処理前水濃度 [Bq/L]	プロセス主建屋 水濃度 [Bq/L]
			2021/11/1	2021/11/1	2021/10/28	2021/10/28	2021/11/2
Fe-55	2.0E+03	ろ液	< 2.7E+00	< 2.3E+00	< 3.0E+00	< 1.5E+01	< 4.1E+00
		残渣	< 2.7E+00	< 2.3E+00	< 3.0E+00	< 4.3E+00	1.7E+01
Ni-59	1.0E+04	ろ液	< 2.3E+00	< 6.6E+00	< 2.3E+00	2.2E+00	9.4E+00
		残渣	< 2.3E+00	< 6.6E+00	< 2.3E+00	< 1.0E+00	3.5E+00
Nb-93m	7.0E+03	ろ液	< 8.6E+00	< 1.5E+01	< 7.8E+00	< 5.6E+01	< 5.2E+01
		残渣	< 8.6E+00	< 1.5E+01	< 7.8E+00	< 5.2E+00	< 4.4E+00
Mo-93	3.0E+02	ろ液	< 1.1E+00	< 2.0E+00	< 1.0E+00	< 1.7E+00	< 1.2E+00
		残渣	< 1.1E+00	< 2.0E+00	< 1.0E+00	< 6.4E-01	< 1.4E+00
Sn-121m	2.0E+03	ろ液	< 1.7E+00	< 5.3E+00	< 2.0E+00	< 1.2E+01	< 9.2E+00
		残渣	< 1.7E+00	< 5.3E+00	< 2.0E+00	< 2.8E+00	< 1.2E+00

※1：目視で懸濁物、浮遊物が確認されたALPS処理前水、PMB水について、0.45 μ mのフィルタでろ過した後、分析を実施

2.2 ALPS処理水等の核種分析結果（ γ ・ β 核種等）（2/2）

- また、Se-79とPd-107を分析した結果、建屋滞留水とALPS処理前水では、Se-79は告示濃度の5/100、Pd-107は告示濃度の1/100以下で検出されているが、ALPS処理後においては、いずれの分析結果も告示濃度限度の1/100以下で検出限界値未満であった。

核種	告示濃度限度 [Bq/L]	試料の種類※1	ALPS処理後			ALPS処理前	建屋滞留水
			K4-A10 タンク水濃度 [Bq/L]	H4-B7 タンク水濃度 [Bq/L]	増設ALPS 処理後水濃度 [Bq/L]	増設ALPS 処理前水濃度 [Bq/L]	プロセス主建屋 水濃度 [Bq/L]
			2022/1/26	2022/1/26	2022/2/10, 2022/4/22	2022/2/10, 2022/4/22	2022/2/4, 2022/4/21
Cl-36	9.0E+02	—	< 4.2E+00	< 5.5E+00	< 3.9E+00	< 3.7E+00	< 4.3E+00
Ca-41	4.0E+03	—	< 7.9E+00	< 7.9E+00	< 7.4E+00	< 1.9E+01	< 1.4E+01
Zr-93	1.0E+03	ろ液 残渣	< 8.5E-01	< 8.5E-01	< 8.5E-01	< 8.5E-01 < 1.3E+00	< 8.5E-01 < 1.3E+00
Ba-133	5.0E+02	—	< 7.3E-01	< 7.0E-01	< 7.0E-01	< 4.3E+00	< 2.6E+00
Se-79	2.0E+02	ろ液※2	—※3	—※3	< 1.5E+00	9.0E+00	～9.7E+00※4
Pd-107	2.0E+04	ろ液※2	—※3	—※3	< 7.1E-02	2.4E-01	～7.8E-02※4

※1：目視で懸濁物、浮遊物が確認されたALPS処理前水、PMB水について、0.45 μ mのフィルタでろ過した後、分析を実施

※2：PMBについて、手動サンプリングで建屋底部のスラッジを含めて採取していたため、0.45 μ mのフィルタでろ過して分析を実施
(ALPS処理前/処理後も試験条件を同一とするため、いずれの試料も0.45 μ mのフィルタでろ過して分析)

※3：分析期間が短いためALPS処理前後とPMB滞留水の分析を計画

※4：同一試料で3度分析しており、2度が検出下限値未満であり、検出された1回の値の記載

(ALPS処理前、ALPS処理後においては、3回とも検出/検出下限値未満であり、平均値を記載)

2.3 ALPS処理水等の核種分析結果（α核種）（1/2）

- ALPS処理水等に含まれるα核種を確認するため、告示濃度限度の1/100以下まで測定を試み、ALPS処理水ではほとんどの核種が告示濃度比の1/100以下でN.D.であったが、U-235とU-238については極微量に検出されている。ただ、これは処理の過程で質量比※¹が1.8%（使用済み燃料相当の比率）→1.2%→0.7%（天然組成比）と変化していること等※²から、ALPS処理水もしくは、分析のために添加した試料等に含まれる天然ウランと判断。

核種	告示濃度限度 [Bq/L]	試料の種類※ ³	ALPS処理後			ALPS処理前	建屋滞留水
			K4-A10 タンク水濃度 [Bq/L]	H4-B7 タンク水濃度 [Bq/L]	増設ALPS 処理後水濃度 [Bq/L]	増設ALPS 処理前水濃度 [Bq/L]	プロセス主建屋水 濃度 [Bq/L]
			2021/11/1	2021/11/1	2021/10/28	2021/10/28	2021/11/2
U-233	2.0E+01	ろ液	< 1.4E-02	< 1.3E-02	< 1.3E-02	< 1.3E-02	< 1.3E-02
		残渣				< 2.4E-03	< 1.4E-03
U-234	2.0E+01	ろ液	< 8.7E-03	< 8.7E-03	< 8.7E-03	< 8.7E-03	1.3E-01
		残渣				< 1.6E-03	2.8E-02
U-235	2.0E+01	ろ液	5.0E-05	9.9E-06	8.8E-06	2.0E-05	3.7E-03
		残渣	約0.7%	約0.7%	約0.7%	約1.2%	約1.8%
U-236	2.0E+01	ろ液	< 9.1E-05	< 9.1E-05	< 9.0E-05	1.2E-04	2.2E-02
		残渣				< 1.6E-05	3.8E-03
U-238	2.0E+01	ろ液	1.2E-03	2.3E-04	2.1E-04	2.3E-04	3.1E-02
		残渣	約99.3%	約99.3%	約99.3%	約98.8%	約98.2%
Np-237	9.0E+00	ろ液	< 1.5E-03	< 1.5E-03	< 1.5E-03	1.2E-02	2.1E-01
		残渣				8.0E-04	8.5E-03

※1： $X = \lambda w / A \times N_A$ より算出（X：放射能、λ：崩壊定数、w：質量、A：原子数、 N_A ：アボガドロ定数）

※2：日本（沖縄除く）の河川のU濃度0.47～488ng/L[本邦河川水中の自然レベルウラン濃度（望月ら）]（約6E-06～6E-03Bq/L：U-238換算）の範囲内であることや、燃料由来のU-236が検出されていないこと

※3：目視で懸濁物、浮遊物が確認されたALPS処理前水、PMB水について、0.45μmのフィルタでろ過した後、分析を実施

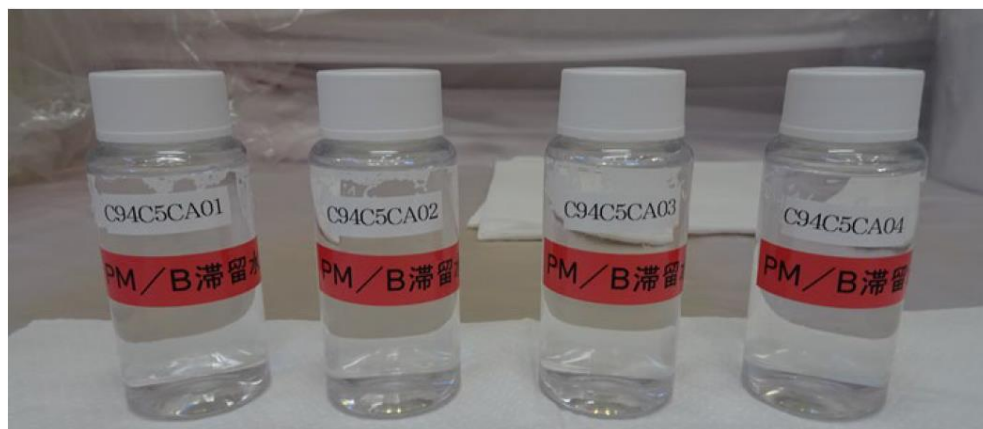
2.3 ALPS処理水等の核種分析結果（α核種）（2/2）

核種	告示 濃度限度 [Bq/L]	試料の 種類※1	ALPS処理後			ALPS処理前	建屋滞留水
			K4-A10 タンク水濃度 [Bq/L]	H4-B7 タンク水濃度 [Bq/L]	増設ALPS 処理後水濃度 [Bq/L]	増設ALPS 処理前水濃度 [Bq/L]	プロセス主建屋水 濃度 [Bq/L]
			2022/1/26	2022/1/26	2022/2/10	2022/2/10	2022/2/4
Pu-238	4.0E+00	ろ液	< 1.9E-03	< 1.9E-03	< 2.5E-03	2.8E-01	1.2E+00
		残渣				4.1E-01	2.8E+00
Pu-239 +Pu-240	8.0E+00	ろ液	< 1.9E-03	< 1.9E-03	< 1.9E-03	9.1E-02	3.9E-01
		残渣				1.4E-01	9.2E-01
Pu-242	4.0E+00	ろ液	< 1.9E-03	< 2.2E-03	< 1.9E-03	< 4.4E-03	< 7.9E-03
		残渣				< 6.1E-03	< 1.3E-02
Am-241	5.0E+00	ろ液	< 1.8E-03	< 1.8E-03	< 1.8E-03	6.8E-02	4.0E-02
		残渣				1.2E-01	5.7E-01
Am-243	5.0E+00	ろ液	< 1.5E-03	< 1.5E-03	< 1.5E-03	< 7.7E-03	< 5.1E-03
		残渣				< 5.5E-03	< 1.7E-02
Cm-242	6.0E+01	ろ液	< 1.5E-03	< 1.5E-03	< 1.6E-03	< 1.6E-03	< 1.5E-03
		残渣				5.5E-03	9.9E-03
Cm-243 +Cm244	1.3E+01	ろ液	< 1.5E-03	< 1.5E-03	< 1.8E-03	6.4E-02	2.7E-02
		残渣				9.1E-02	4.4E-01
Cm244 +Cm245	1.0E+01	ろ液	< 1.5E-03	< 4.7E-03	< 1.5E-03	< 2.1E-02	< 1.4E-02
		残渣				< 2.6E-02	< 6.0E-02

※1：目視で懸濁物、浮遊物が確認されたALPS処理前水、PMB水について、0.45μmのフィルタでろ過した後、分析を実施

【参考】 分析試料

- 今回の分析では、PMB水とALPS処理前水については、目視で懸濁物、浮遊物が確認されたため、0.45 μ mのフィルタでろ過した上で分析を実施している。
- 当該分析方法は、軽水炉では溶解性/不溶解性を分別する手法として従前より実施されており、今回は本手法を採用することで、容易に除去される不溶解性の核種と、水に溶解しており、ALPS等での処理が必要な核種を確認した。



ろ液試料 (PMB水)



残渣試料 (PMB水)



ろ液試料 (ALPS処理前水)

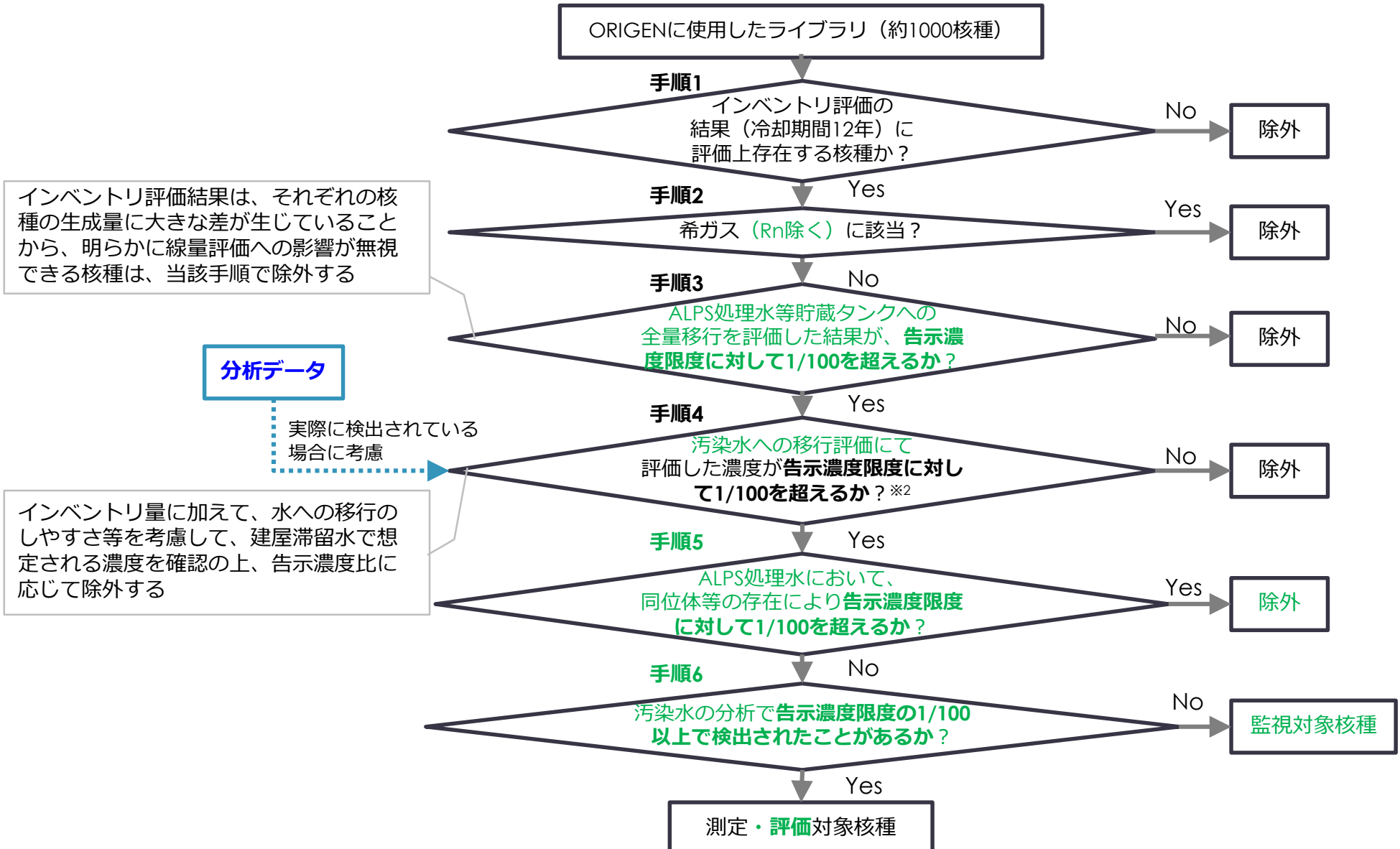


残渣試料 (ALPS処理前水)

3. 測定・評価対象核種の選定フローの改定案

3.1 ALPS処理水の測定対象核種選定の考え方（東電案）

- 選定フローについては、審査会合時より**緑字**の部分の変更を検討中。



3.2 [手順1], [手順2]について

- [手順1]での“評価上存在する”という基準については以下の通り。
 - ORIGENの計算で計算する単位は[Ci]であり、1.0E-38[Ci]のオーダーまで計算可能。
 - 一方、ORIGENへの入力値として、燃料ではウラン1tonあたりの組成、炉内構造物では微量元素の組成(wt%)に暫定の重量(1E15~17[g])を乗じた値を入力(計算中のカットオフ防止のため)しており、ORIGENの評価結果[Ci]から、[Bq/core]と変換を行う際、前述の入力条件が異なることから、Bqとしてのカットオフの基準は評価対象によって異なる。
 - 上記の通り、現状では評価対象によってカットオフの基準が異なるものの、統一を図るため、線量影響が十分小さい1E+00[Bq/core]にてカットオフすることを検討中※(37核種減の見込み)。
- ※：「JAEA-Data/Code 2012-018 福島第一原子力発電所の燃料組成評価」では1E+12Bq/core(短期), 1E+09Bq/core(長期)でカットオフ

- [手順2]では、Rnを除く希ガスは、以下5核種であり、除外理由は以下の通り。

核種(希ガス)	半減期	生成経路	除外理由
Ar-39	268 [y]	構造材の不純物(K)の放射化により生成	原子炉運転中に生成・排気され、震災時点で炉内に存在しないため、除外に問題はない。
Ar-42	32.9 [y]	構造材の不純物(K, Ca等)の放射化により生成	原子炉運転中に生成・排気され、震災時点で炉内に存在しないため、除外に問題はない。
Kr-81	2.3E+5 [y]	核分裂により生成 + 構造材の不純物(Br)の放射化により生成	原子炉運転中に生成・排気され、震災時点で炉内に存在しないため、除外に問題はない。
Kr-83m	1.83 [h]	核分裂による生成 + Rb-83の崩壊による生成	前者は、原子炉運転中に生成・排気され、震災時点で炉内に存在しないため、除外に問題はない。 後者は、12年後には1Bq未満(1E-05Bq)であるため、線量影響は十分小さい。
Kr-85	10.73 [y]	主に核分裂により生成	原子炉運転中に生成・排気され、震災時点で炉内に存在しないため、除外に問題はない。

【補足】 [手順1]でカットオフした場合に残る核種

■ 仮に1E+00[Bq/core]でカットオフする場合は、247核種より以下37核種が除外される。

⇒ **あくまで暫定案であるため、次頁以降の評価では、247核種で議論する。**

H-3	Ni-59	Nb-91	Ag-110	Te-125m	Pm-146	Ho-166m	Pt-190	Po-210	Ac-228	Np-236	Cm-242
Be-10	Ni-63	Nb-92	Ag-110m	Te-127	Pm-147	Tm-168	Pt-193	Po-211	Th-227	Np-237	Cm-243
C-14	Zn-65	Nb-93m	Cd-109	Te-127m	Sm-145	Tm-170	Tl-204	Po-212	Th-228	Np-238	Cm-244
Na-22	Ga-68	Nb-94	Cd-113	I-125	Sm-146	Tm-171	Tl-206	Po-213	Th-229	Np-239	Cm-245
Si-32	Ge-68	Nb-95	Cd-113m	I-129	Sm-147	Lu-176	Tl-207	Po-214	Th-230	Np-240	Cm-246
P-32	As-73	Nb-95m	In-113m	Cs-134	Sm-148	Lu-177	Tl-208	Po-215	Th-231	Np-240m	Cm-247
S-35	Se-75	Mo-93	In-115	Cs-135	Sm-149	Lu-177m	Tl-209	Po-216	Th-232	Pu-236	Cm-248
Cl-36	Se-79	Tc-95m	Sn-113	Cs-137	Sm-151	Hf-175	Pb-204	Po-218	Th-234	Pu-238	Cm-250
Ar-39	Kr-81	Tc-97	Sn-119m	Ba-133	Eu-149	Hf-182	Pb-205	At-217	Pa-231	Pu-239	Bk-249
Ar-42	Kr-83m	Tc-97m	Sn-121	Ba-137m	Eu-150	Ta-182	Pb-209	Rn-219	Pa-233	Pu-240	Bk-250
K-40	Kr-85	Tc-98	Sn-121m	La-137	Eu-152	W-181	Pb-210	Rn-220	Pa-234	Pu-241	Cf-249
K-42	Rb-83	Tc-99	Sn-123	La-138	Eu-154	W-185	Pb-211	Rn-222	Pa-234m	Pu-242	Cf-250
Ca-41	Rb-87	Ru-106	Sn-126	Ce-139	Eu-155	W-188	Pb-212	Fr-221	U-232	Pu-243	Cf-251
Ca-45	Sr-85	Rh-101	Sb-124	Ce-142	Gd-151	Re-187	Pb-214	Fr-223	U-233	Pu-244	Cf-252
Sc-46	Sr-90	Rh-102	Sb-125	Ce-144	Gd-152	Re-188	Bi-208	Ra-223	U-234	Pu-246	Cf-254
V-49	Y-88	Rh-102m	Sb-126	Pr-144	Gd-153	Os-185	Bi-210	Ra-224	U-235	Am-241	Es-254
V-50	Y-90	Rh-106	Sb-126m	Pr-144m	Tb-157	Os-194	Bi-210m	Ra-225	U-236	Am-242	
Mn-54	Y-91	Pd-107	Te-121	Nd-144	Tb-158	Ir-192	Bi-211	Ra-226	U-237	Am-242m	
Fe-55	Zr-88	Ag-108	Te-121m	Pm-143	Tb-160	Ir-192m	Bi-212	Ra-228	U-238	Am-243	
Co-58	Zr-93	Ag-108m	Te-123	Pm-144	Dy-159	Ir-194	Bi-213	Ac-225	U-240	Am-245	
Co-60	Zr-95	Ag-109m	Te-123m	Pm-145	Ho-163	Ir-194m	Bi-214	Ac-227	Np-235	Am-246	

3.3 [手順3]の指標について

- 従前は[手順3]の指標として、“相対重要度”を使用することを検討していた。

“相対重要度”：被ばく影響の総和に対する比により、線量評価に影響を与えない核種を除外

$$\text{相対重要度} = \frac{\text{核種 } i \text{ のインベントリ量(Bq)}}{\text{核種 } i \text{ の告示濃度限度(Bq/cm}^3\text{)}} < \frac{\sum_{j=1}^{242} \text{核種 } j \text{ のインベントリ量(Bq)}}{\sum_{j=1}^{242} \text{核種 } j \text{ の告示濃度限度(Bq/cm}^3\text{)}} < 10^{-9} \sim 10^{-10} (\%)$$

(被ばくへの寄与率を%表示)

指標として
分かりづらい

- ただし、“相対重要度”には除外の基準がなく（見えづらい）、設定する除外基準で良いことの説明性に乏しいことから、濃度基準で告示濃度限度と比較する方法への変更を検討中。
- 新しい指標は、“ALPS処理水等貯留タンクへの全量移行”を想定して、告示濃度限度の1/100未満であるかを確認の上、除外する（10/6の面談時のコメント対応）。なお、当該指標は、PCV内に存在するインベントリが全量、ALPS処理水等貯留タンクの貯蔵量に溶けたと想定するため、現実の状況を踏まえると十分に保守性を持った条件と考えている。

“ALPS処理水等貯留タンクへの全量移行”：2023年3月時点で予想されるALPS処理水等貯留タンク内の水に全てのインベントリが溶けたと仮定して、放射能濃度を評価

$$\text{核種 } i \text{ の濃度} = \frac{\text{核種 } i \text{ のインベントリ量(Bq)}}{\text{ALPS処理水等の貯蔵量 (m}^3\text{)}} < \text{核種 } i \text{ の告示濃度限度} \times 1/100 (\text{Bq/cm}^3)$$

133万m³ (予測値) @2022年3月時点

告示の濃度との比較が可能

- なお、[手順3]で除外基準を告示濃度限度の1/100としているのは、線量評価に与える影響が十分小さいことに加えて、除外される核種の濃度評価の保守性（Srと同等）を考慮して設けた値である。

【補足】[手順3]の手法の妥当性について

- [手順3]で一部の核種を除外するものの、生成量上位90核種は、概ね選定されている。
- また、本手順での評価濃度は、事故時に放出しやすい性状のセシウムやヨウ素等の実際の濃度は下回るものの、ストロンチウムで同程度、それ以外の核種は実際確認された濃度よりも保守的な設定となっている。

順位	核種	順位	核種	順位	核種	順位	核種	順位	核種	順位	核種	順位	核種
1	Cs-137	19	Sm-151	37	C-14	55	Np-237	73	Bi-212	91	Zn-65	109	Pb-221
2	Ba-137m	20	H-3	38	Tl-204	56	Sn-126	74	Pb-212	92	Pa-234	110	Bi-221
3	Pu-241	21	Te-125m	39	U-234	57	Sb-126m	75	Ra-224	93	Be-10	111	Po-215
4	Y-90	22	Rh-106	40	Zr-93	58	Mn-54	76	Po-216	94	Tb-157	112	Rn-219
5	Sr-90	23	Ru-106	41	Pu-242	59	Mo-93	77	Rn-220	95	Th-230	113	Ra-223
6	Pm-147	24	Pr-144	42	U-237	60	Cm-245	78	Th-228	96	Tb-158	114	Ac-227
7	Co-60	25	Ce-144	43	Pt-193	61	Nb-94	79	Pu-236	97	Ag-110	115	Tl-207
8	Cs-134	26	Tc-99	44	Eu-152	62	Pd-107	80	Ag-110m	98	Gd-153	116	Th-227
9	Pu-238	27	Sn-121m	45	Nb-93m	63	Np-238	81	Pm-145	99	Ir-194	117	Cf-250
10	Am-241	28	Am-242m	46	Tm-171	64	Th-231	82	Po-212	100	Os-194	118	Ho-163
11	Eu-154	29	Am-242	47	Pm-146	65	U-235	83	Sn-119m	101	K-40	119	Rh-102m
12	Fe-55	30	Np-239	48	Cs-135	66	Se-79	84	Tl-208	102	U-233	120	La-137
13	Ni-63	31	Am-243	49	Th-234	67	Sb-126	85	Ag-109m	103	Rb-87	121	Sm-147
14	Cm-244	32	Cd-113m	50	Pa-234m	68	Cm-246	86	Cd-109	104	Pa-231	122	Tc-98
15	Eu-155	33	Cm-243	51	U-238	69	Ag-108m	87	Cl-36	105	Ce-142	123	Rh-102
16	Pu-240	34	Cm-242	52	Pr-144m	70	Ba-133	88	Ho-166m	106	Na-22	124	Np-236
17	Sb-125	35	Ni-59	53	U-236	71	I-129	89	Ca-41	107	Sm-145	125	Ir-192
18	Pu-239	36	Sn-121	54	Pa-233	72	U-232	90	Ag-108	108	Eu-150	126	Ir-192m

3.4 [手順4]汚染水への移行評価 (1/2)

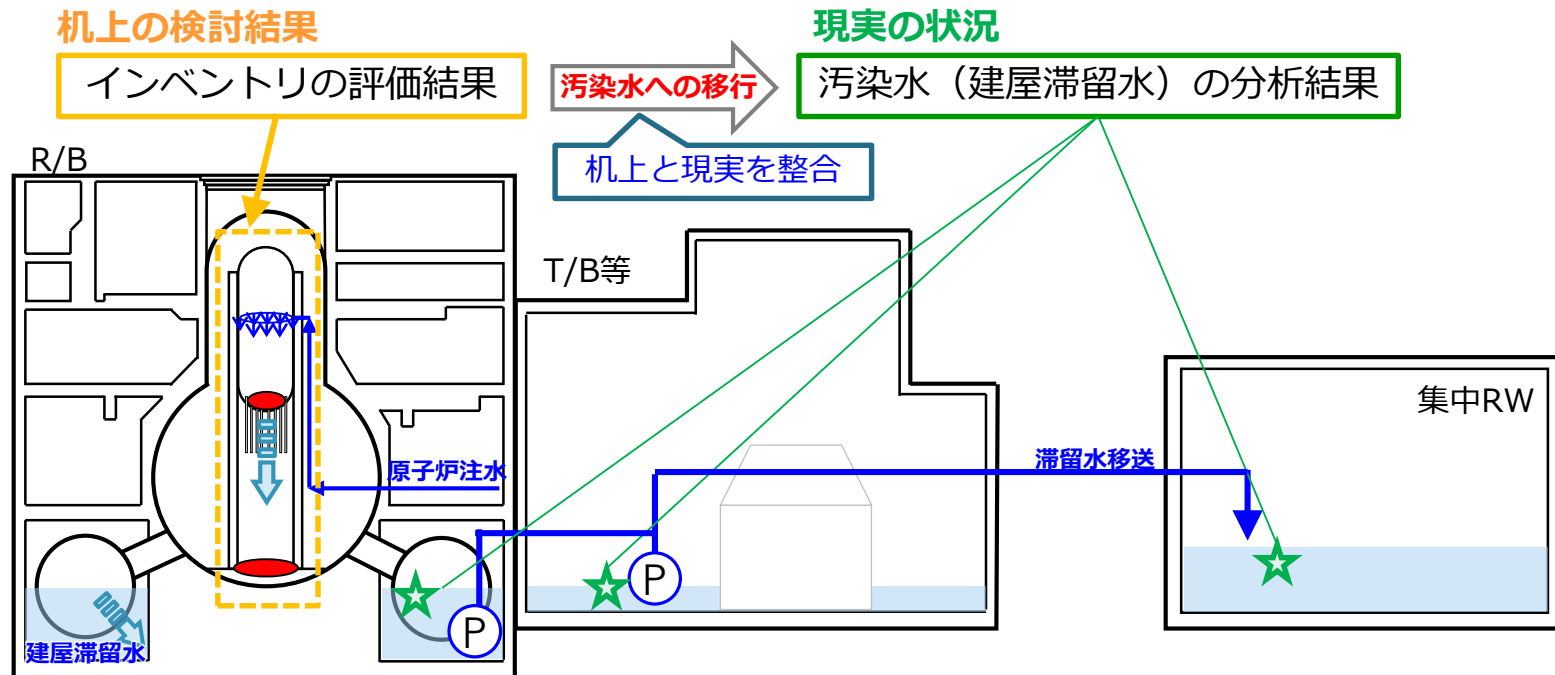
- 測定・評価対象核種の選定では、机上で検討したインベントリ評価と、現実の状況を確認した核種分析の結果の双方のデータを使用して、汚染水への移行評価を行う。
- 現在検討中の主な手法として、汚染水の分析結果から、インベントリから汚染水への移行の程度を"移行係数"として評価し、これを使用して汚染水中の濃度を評価することを検討中。

$$\text{汚染水中の放射性核種の評価濃度 (Bq/L)} = \text{インベントリ量}^{\ast 1} \text{ (Bq)} \times \text{移行係数}^{\ast 2} \text{ (1/L)}$$

※1: ALPS処理水の海洋放出時期を踏まえ、震災後12年の評価結果を使用

※2: 汚染水の分析結果 (Bq/L) ÷ インベントリ量 (Bq) にて算出。それぞれは基準日は2011年3月11日に統一した結果を使用

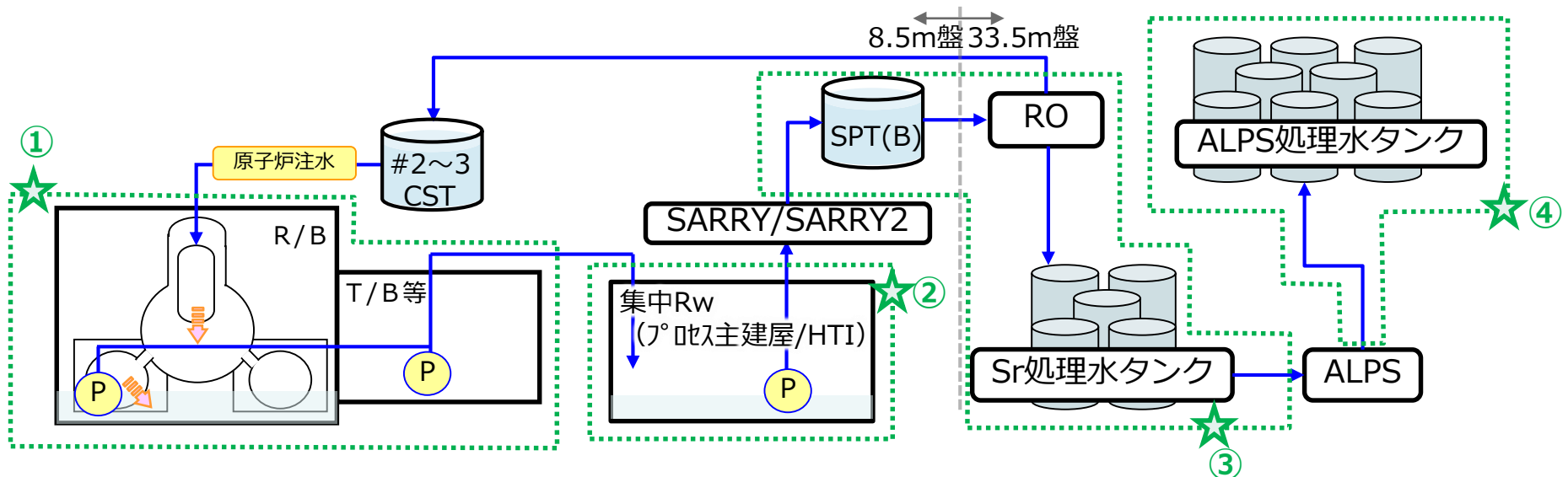
- なお、[手順4]以降で、除外基準を告示濃度限度の1/100としているのは、線量評価に与える影響が十分小さいことに加えて、核種数が100核種以下であり、仮に1/100であっても"告示濃度比総和1未満"を満足できることを踏まえて設定している。



3.4 [手順4]汚染水への移行評価 (2/2)

- 移行評価に使用する分析結果は、以下4種類に分けてデータ集約中。
- なお、汚染水は全て集中Rwを經由して水処理が行われることから、No.②の分析結果を主に使用することを考えているものの、No.②だけでは全ての核種のデータが揃わないことに加えて、建屋滞留水はCsの濃度が高い影響から検出下限値が高い等の理由により、分析データ数が少ない核種があることから、No.①と③のデータで補完することを検討中。

No.	評価元の分析結果	考え方
①	建屋滞留水@1~4号機	1~4号機PCV内や建屋滞留水の分析結果
②	建屋滞留水@集中Rw	集中Rw (PMB/HTI) 、SARRY等の入口の分析結果
③	セシウム吸着装置出口~ALPS入口	セシウム吸着装置出口~ALPS入口の分析結果
④	ALPS出口	ALPS処理後の分析結果



3.5 [手順5]の内容

- 従前の[手順4]と[手順5]を統合にした後、新たな[手順5]として「ALPS処理水において、同位体等の存在により告示濃度限度に対して1/100以下を確認可能か？」という項目を新設。具体的な事例として以下を想定。

【具体的事例①】

核種	インベントリ量（12年後）[Bq]	告示濃度限度[Bq/L]	Cs-137を告示濃度比1としたときの比
Cs-134	2.5E+16	6.0E+01	7.0E-02
Cs-135	3.5E+12	6.0E+02	9.9E-07
Cs-137	5.3E+17	9.0E+01	1
Ba-137m	5.0E+17	8.0E+05	1.1E-04

- Cs-137が告示濃度比1の場合、Cs-134は告示濃度比が0.07であるが、Cs-135、Ba-137mは告示濃度比が9.9E-07、1.1E-04となる。

⇒ 告示濃度比総和1未満であるALPS処理水では、Cs-135、Ba-137mは告示濃度比総和に与える影響が十分小さい。

【具体的事例②】

核種	インベントリ量（12年後）[Bq]	告示濃度限度[Bq/L]	Ru-106を告示濃度比1としたときの比
Ru-106	7.5E+14	1.0E+02	1
Rh-106	7.6E+16	3.0E+05	3.3E-04

- Ru-106が告示濃度比1の場合でも、Rh-106の告示濃度比は3.3E-04となる。

⇒ 告示濃度比総和が1未満であるALPS処理水におけるRh-106は、告示濃度比総和に与える影響が十分小さい。

3.6 [手順6]の内容

- 新たに[手順6]として、「汚染水の分析で告示濃度限度の1/100以上で検出されたことがあるか？」という項目を新設。
- 一部の核種については、過去の滞留水を含む汚染水の分析において、一度も検出されていないものの、検出下限値並びに評価の保守性によって、評価濃度が告示濃度限度の1/100を上回ることとなっている。ただし、使用しているデータが検出下限値であるため、実際の現象まで捉えているとは言えない。
- このため、過去に告示濃度限度の1/100以上で検出されたことのない核種については、「監視対象核種」として、詳細分析時に確認することを検討中。

監視対象核種

- ・測定・評価対象核種以外の核種の存在について継続的に確認する詳細分析の中で、特に監視を必要とする核種。

4. 核種選定の検討状況

4.1 インベントリ評価の結果（暫定）について[手順2],[手順3]

■ 現時点のインベントリ評価において、[手順2],[手順3]で残った核種は下表の**93核種**。

：[手順2]で除外される核種（5核種） ：[手順3]で除外される核種（149核種）

H-3	Ni-59	Nb-91	Ag-110	Te-125m	Pm-146	Ho-166m	Pt-190	Po-210	Ac-228	Np-236	Cm-242
Be-10	Ni-63	Nb-92	Ag-110m	Te-127	Pm-147	Tm-168	Pt-193	Po-211	Th-227	Np-237	Cm-243
C-14	Zn-65	Nb-93m	Cd-109	Te-127m	Sm-145	Tm-170	Tl-204	Po-212	Th-228	Np-238	Cm-244
Na-22	Ga-68	Nb-94	Cd-113	I-125	Sm-146	Tm-171	Tl-206	Po-213	Th-229	Np-239	Cm-245
Si-32	Ge-68	Nb-95	Cd-113m	I-129	Sm-147	Lu-176	Tl-207	Po-214	Th-230	Np-240	Cm-246
P-32	As-73	Nb-95m	In-113m	Cs-134	Sm-148	Lu-177	Tl-208	Po-215	Th-231	Np-240m	Cm-247
S-35	Se-75	Mo-93	In-115	Cs-135	Sm-149	Lu-177m	Tl-209	Po-216	Th-232	Pu-236	Cm-248
Cl-36	Se-79	Tc-95m	Sn-113	Cs-137	Sm-151	Hf-175	Pb-204	Po-218	Th-234	Pu-238	Cm-250
Ar-39	Kr-81	Tc-97	Sn-119m	Ba-133	Eu-149	Hf-182	Pb-205	At-217	Pa-231	Pu-239	Bk-249
Ar-42	Kr-83m	Tc-97m	Sn-121	Ba-137m	Eu-150	Ta-182	Pb-209	Rn-219	Pa-233	Pu-240	Bk-250
K-40	Kr-85	Tc-98	Sn-121m	La-137	Eu-152	W-181	Pb-210	Rn-220	Pa-234	Pu-241	Cf-249
K-42	Rb-83	Tc-99	Sn-123	La-138	Eu-154	W-185	Pb-211	Rn-222	Pa-234m	Pu-242	Cf-250
Ca-41	Rb-87	Ru-106	Sn-126	Ce-139	Eu-155	W-188	Pb-212	Fr-221	U-232	Pu-243	Cf-251
Ca-45	Sr-85	Rh-101	Sb-124	Ce-142	Gd-151	Re-187	Pb-214	Fr-223	U-233	Pu-244	Cf-252
Sc-46	Sr-90	Rh-102	Sb-125	Ce-144	Gd-152	Re-188	Bi-208	Ra-223	U-234	Pu-246	Cf-254
V-49	Y-88	Rh-102m	Sb-126	Pr-144	Gd-153	Os-185	Bi-210	Ra-224	U-235	Am-241	Es-254
V-50	Y-90	Rh-106	Sb-126m	Pr-144m	Tb-157	Os-194	Bi-210m	Ra-225	U-236	Am-242	
Mn-54	Y-91	Pd-107	Te-121	Nd-144	Tb-158	Ir-192	Bi-211	Ra-226	U-237	Am-242m	
Fe-55	Zr-88	Ag-108	Te-121m	Pm-143	Tb-160	Ir-192m	Bi-212	Ra-228	U-238	Am-243	
Co-58	Zr-93	Ag-108m	Te-123	Pm-144	Dy-159	Ir-194	Bi-213	Ac-225	U-240	Am-245	
Co-60	Zr-95	Ag-109m	Te-123m	Pm-145	Ho-163	Ir-194m	Bi-214	Ac-227	Np-235	Am-246	

【参考】分析データ数（1/4）

- 前頁のデータは、JAEAが公開しているFRAnDLiのデータ（東電公表分含む）の他、ALPS性能確認時等の62核種分析（2013年度～2022年度）、処理水ポータルで公開しているALPS処理前後のデータ及び、ALPS処理水等貯留タンクのデータを使用（N.D.となっても数字がないデータは含まず）。

核種	① 1～4号機	②集中Rw	③ALPS処理前	④ALPS処理後
	データ数（うち検出数）	データ数（うち検出数）	データ数（うち検出数）	データ数（うち検出数）
H-3	22 (22)	28 (28)	310 (310)	486 (486)
C-14	5 (5)	15 (1)	25 (13)	341 (341)
Cl-36	0 (0)	10 (0)	12 (0)	3 (0)
Ca-41	0 (0)	9 (0)	5 (0)	3 (0)
Mn-54	2 (0)	0 (0)	1194 (290)	1893 (14)
Fe-55	0 (0)	1 (0※)	1 (0)	3 (0)
Co-58	0 (0)	0 (0)	26 (5)	42 (0)
Co-60	40 (20)	41 (27)	1567 (1403)	2187 (145)
Ni-59	0 (0)	3 (1)	12 (1)	3 (0)
Ni-63	13 (10)	21 (16)	92 (48)	55 (1)
Zn-65	0 (0)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
Se-79	10 (0)	<u>15 (9)</u>	<u>47 (12)</u>	<u>5 (0)</u>
Sr-89	4 (3)	0 (0)	65 (17)	128 (0)
Sr-90	41 (40)	40 (40)	843 (832)	1782 (775)
Y-91	0 (0)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
Zr-93	0 (0)	1 (0)	1 (0)	3 (0)

※：残渣では検出（P9）

【参考】分析データ数 (2/4)

核種	① 1～4号機	②集中Rw	③ALPS処理前	④ALPS処理後
	データ数 (うち検出数)	データ数 (うち検出数)	データ数 (うち検出数)	データ数 (うち検出数)
Nb-93m	0 (0)	1 (0)	1 (0)	3 (0)
Nb-94	36 (0)	38 (0)	66 (0)	2 (0)
Nb-95	0 (0)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
Mo-93	0 (0)	1 (0)	1 (0)	3 (0)
Tc-99	5 (2)	21 (7)	246 (221)	898 (106)
Ru-106	6 (1)	2 (0)	1254 (972)	2376 (1431)
Pd-107	0 (0)	<u>1 (1)</u>	<u>1 (1)</u>	1 (0)
Ag-110m	0 (0)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
Cd-113m	0 (0)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
Sn-121m	0 (0)	1 (0)	1 (0)	3 (0)
Sn-123	0 (0)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
Sn-126	0 (0)	2 (0)	32 (0)	44 (0)
Sb-124	0 (0)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
Sb-125	27 (9)	14 (10)	1617 (1604)	2378 (1589)
Te-123m	0 (0)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
Te-127	0 (0)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
I-129	22 (4)	30 (10)	449 (380)	1840 (1550)
I-131	4 (0)	16 (2)	43 (22)	0 (0)

【参考】分析データ数 (3/4)

核種	① 1～4号機	②集中Rw	③ALPS処理前	④ALPS処理後
	データ数 (うち検出数)	データ数 (うち検出数)	データ数 (うち検出数)	データ数 (うち検出数)
Cs-134	190 (190)	260 (260)	1501 (1261)	2384 (364)
Cs-137	224 (224)	300 (300)	1744 (1698)	2391 (1512)
Ba-133	0 (0)	1 (0)	1 (0)	3 (0)
Ba-140	4 (2)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
La-140	4 (3)	0 (0)	3 (0)	0 (0)
Ce-144	3 (3)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
Pm-146	0 (0)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
Eu-152	36 (0)	40 (0)	91 (0)	42 (0)
Eu-154	38 (2)	40 (0)	112 (0)	44 (0)
Eu-155	0 (0)	0 (0)	21 (0)	47 (0)
Gd-153	0 (0)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
Tb-160	0 (0)	0 (0)	21 (0)	42 (0)
U-233	0 (0)	3 (0)	8 (0)	3 (0)
U-234	25 (7)	23 (11)	22 (7)	3 (0)
U-235	23 (7)	23 (14)	43 (13)	6 (3※)
U-236	20 (7)	23 (12)	22 (8)	3 (0)
U-238	28 (23)	23 (18)	43 (19)	6 (3※)
Np-237	7 (7)	13 (9)	15 (6)	3 (0)

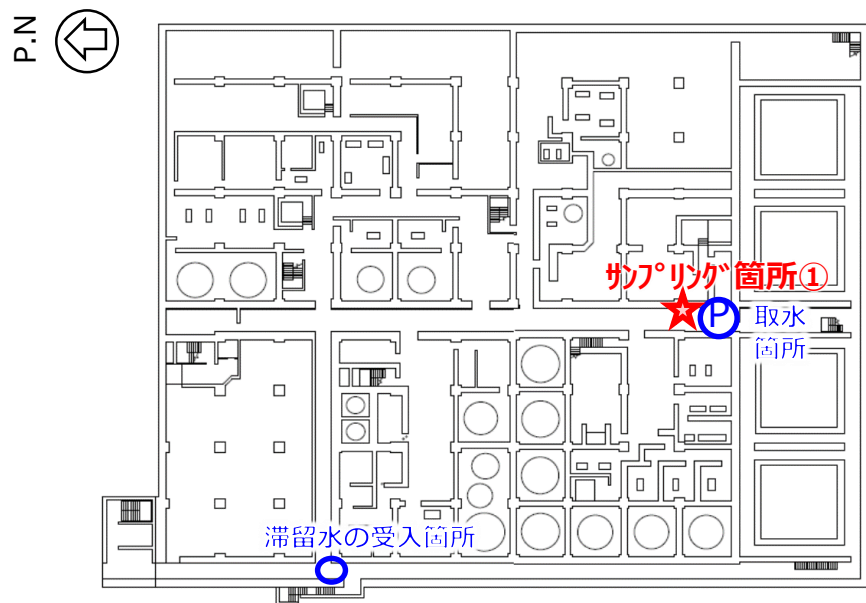
※：ALPS処理水もしくは分析のために添加した試料等に含まれる天然ウランを検出 (P11)

【参考】分析データ数（4/4）

核種	① 1～4号機	②集中Rw	③ALPS処理前	④ALPS処理後
	データ数（うち検出数）	データ数（うち検出数）	データ数（うち検出数）	データ数（うち検出数）
Pu-238	38 (17)	41 (22)	72 (16)	8 (0)
Pu-239	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)
Pu-240	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)
Pu-239+240	38 (12)	40 (12)	72 (10)	8 (0)
Pu-241	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)
Pu-242	0 (0)	4 (0)	8 (0)	3 (0)
Am-241	37 (11)	41 (6)	61 (3)	7 (0)
Am-242m	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)
Am-243	0 (0)	3 (0)	8 (0)	3 (0)
Cm-242	7 (2)	1 (1)	1 (1)	3 (0)
Cm-244	37 (7)	40 (2)	60 (6)	4 (0)
Cm-243+244	0 (0)	1 (1)	1 (1)	3 (0)
Cm-245	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)
Cm-246	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)
Cm-245+246	0 (0)	1 (0)	1 (0)	3 (0)

【参考】 サンプルング場所とサンプルング方法@②集中Rw (1/3) TEPCO

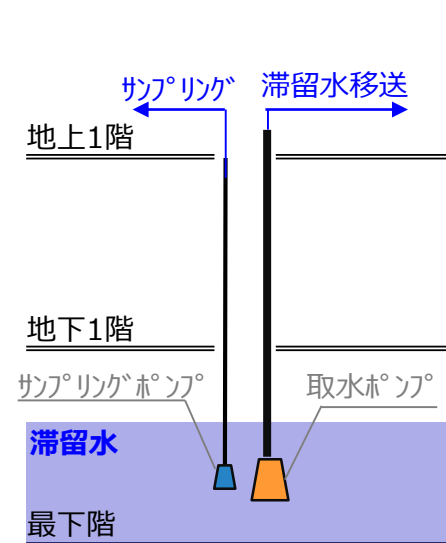
- 今回使用する分析データの基本とする、集中Rwの分析結果は、PMB、HTIから直接採取する方法と、セシウム吸着装置入口（次頁参照）から採取した試料を使用。
 - 集中Rwには、建屋の最下階に設置する取水ポンプと同一開口から、同じ高さを目標にサンプルリングポンプを設置しており、定期的にこれを稼働して採取している。



PMB最下階平面図



HTI最下階平面図

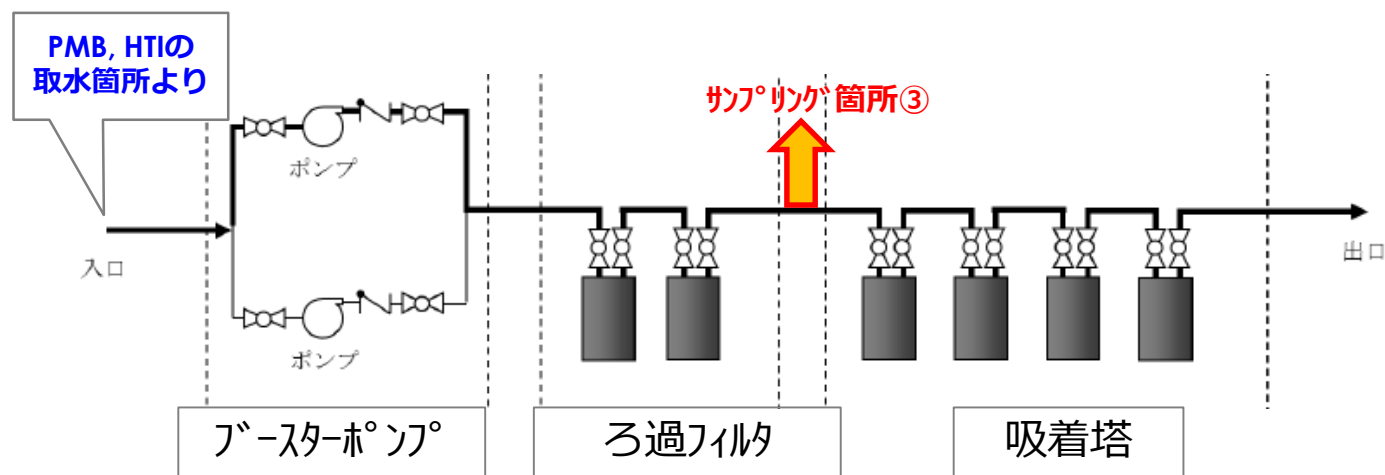


設置イメージ

【参考】 サンプリング場所とサンプリング方法@②集中Rw (2/3)

- セシウム吸着装置には、吸着塔性能を確認するために、各箇所にはサンプリングラインを設けており、その中で、ろ過フィルタ出口は集中Rwと同等の水として取り扱っている※1。

※1：吸着塔保護用に設置されろ過フィルタ後の水を採取しており、過去の実績より、取水元の滞留水と分析値に有意な差がないことを確認済。

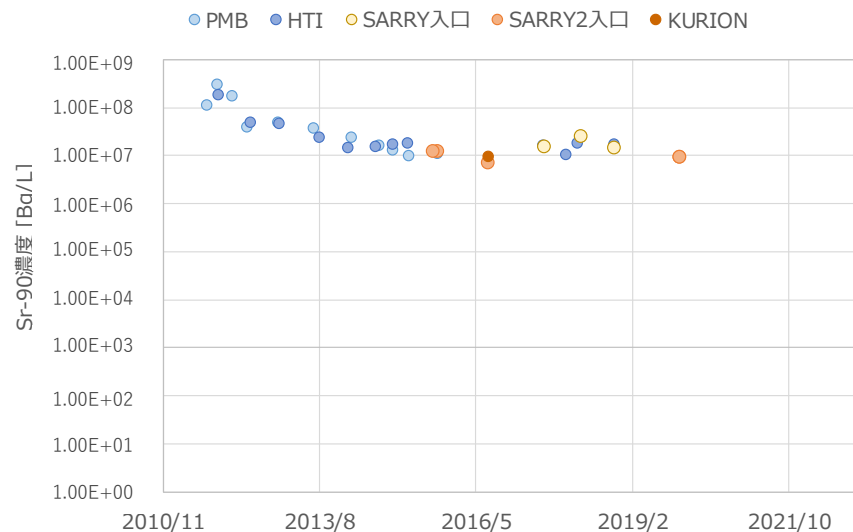
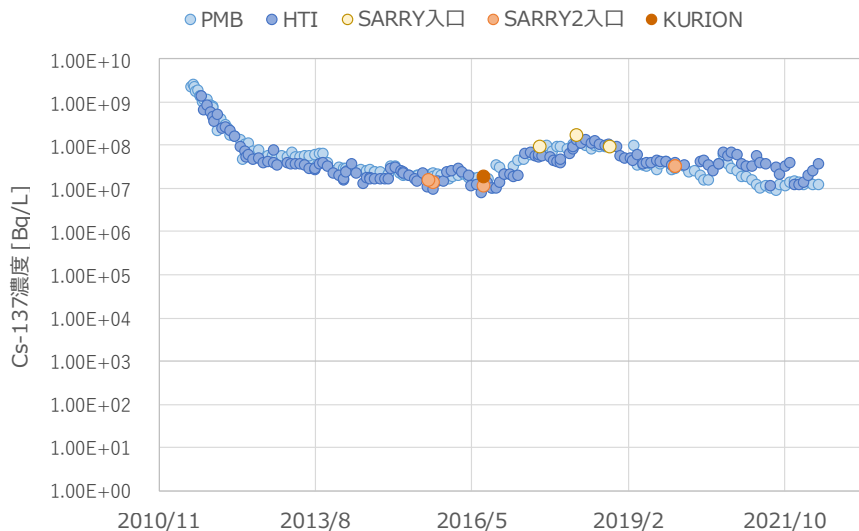


セシウム吸着装置入口 (例：SARRY2※2)

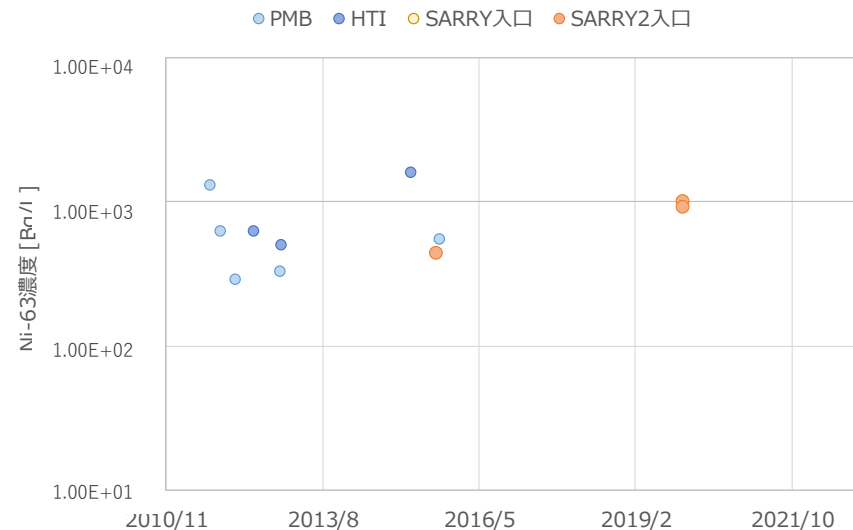
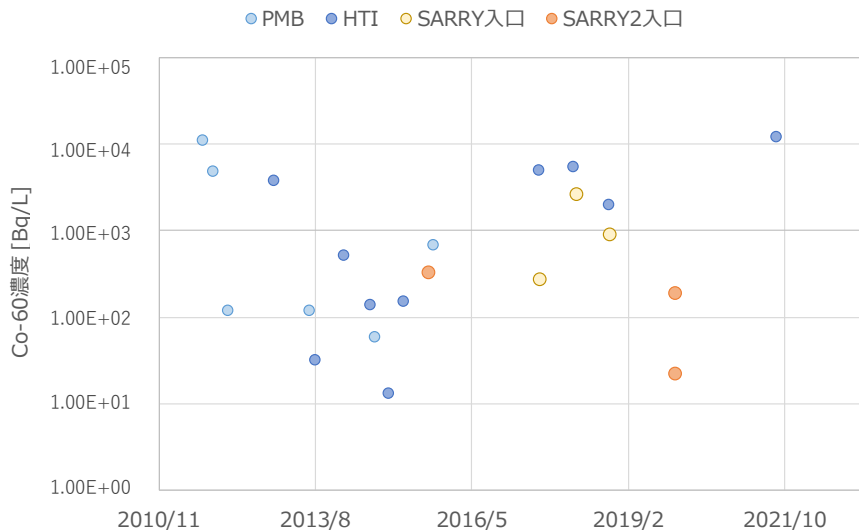
※2：KURION、SARRYも同様

【参考】 サンプルング場所とサンプルング方法@②集中Rw (3/3)

- PMB/HTIとセシウム吸着装置入口の濃度を比較した結果、ろ過フィルタを通水した影響はほとんど見られないことから、同じ水として取り扱っている。



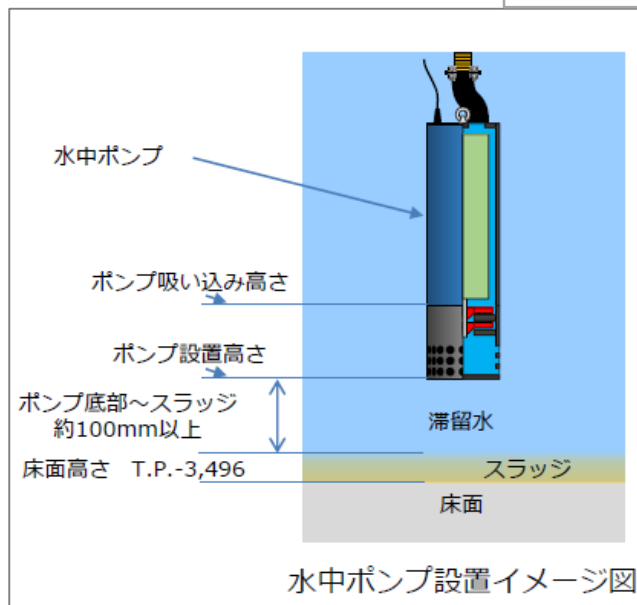
t121



【参考】 1～4号機床面スラッジの後段への移送防止策

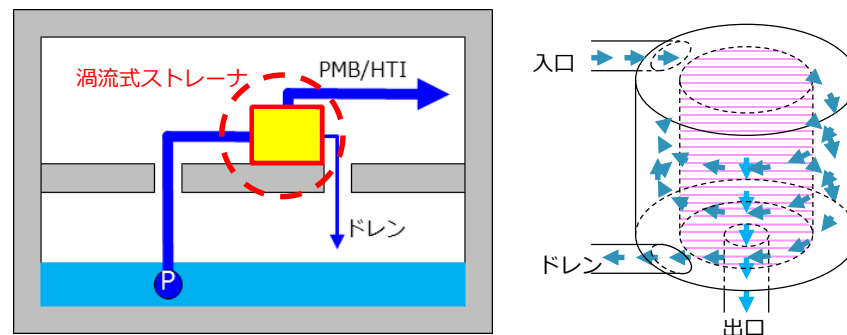
- 1～4号機の滞留水移送装置で各建屋へ設置しているポンプについては、各々建屋スラッジの吸込み対策として、床面より浮かせた位置で固定している。
- ⇒ 事前にスラッジからポンプ底部までの高さ約60mm以上確保することで、スラッジの巻き込みが発生しないことを確認

2020年10月7日面談資料「3号機原子炉建屋滞留水移送装置の追設について」



- ポンプ設置高さ
 - ・ T.P.-3,396以上
(スラッジの堆積量による)
- ポンプ吸い込み高さ
 - ・ T.P.-3,226以上
(スラッジの堆積量による)
- 滞留水移送開始時サンプリングを行い、有意な濃度の上昇が確認された際には、ポンプ設置位置の変更を行う。
- ポンプ設置高さは容易に変更できる設備構成とする。

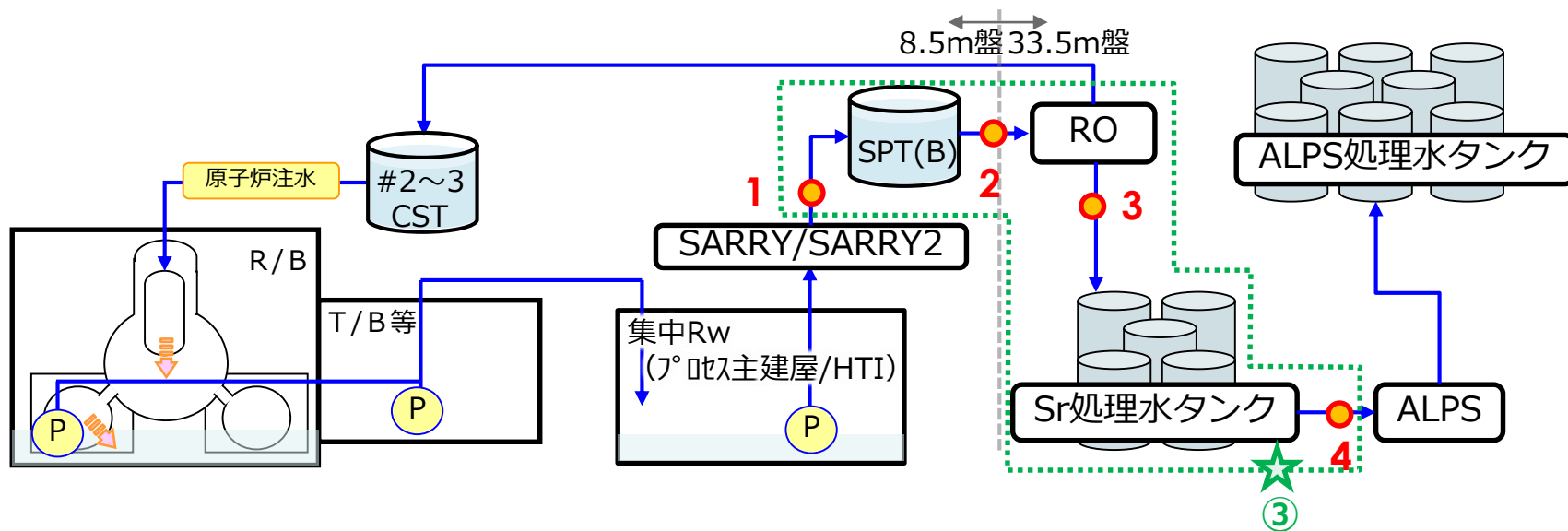
- 上記対策に加えて、2014～2015年に原子炉建屋へ滞留水移送ポンプを新設する際、1～4号機の全ての建屋のポンプ出口に渦流式ストレーナを設けることで、1～4号機の底部に沈むスラッジの後段への移送の防止対策を行っている。



各建屋のポンプの設置状況と渦流式ストレーナ

【参考】 サンプルング場所とサンプルング方法@③ALPS処理前 (1/2) **TEPCO**

- 今回使用する分析データで一部の核種で補助的に使用する、ALPS処理前の分析結果としては、以下の箇所から採取した試料を使用。

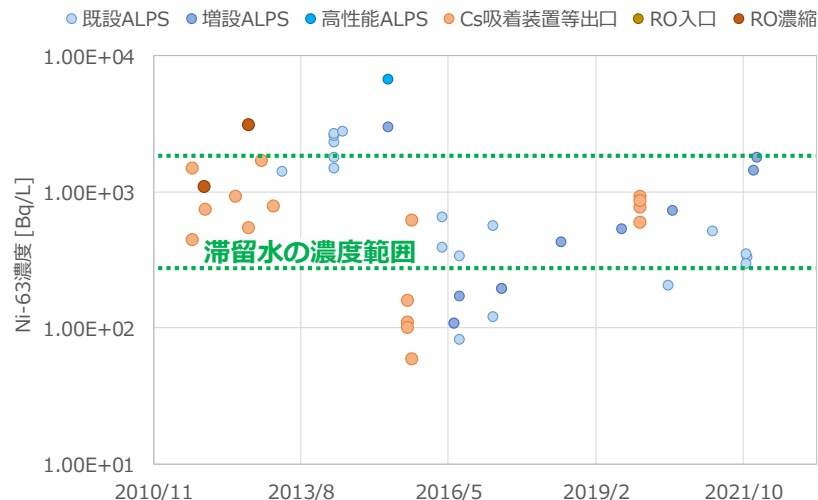
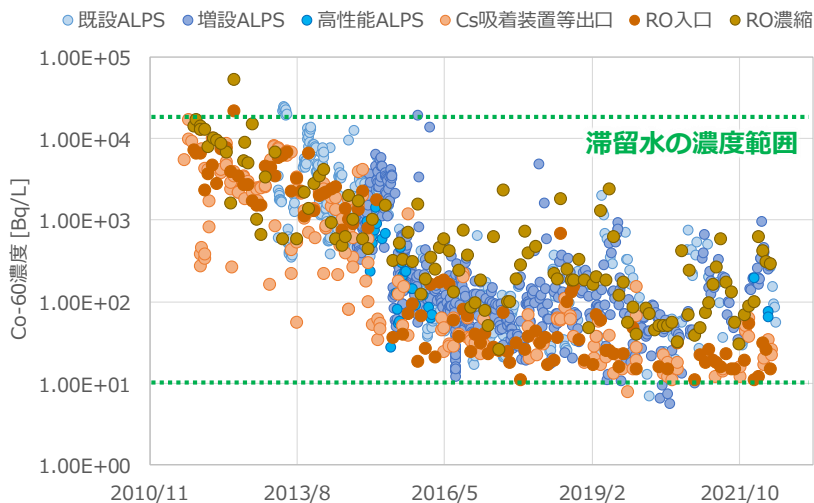
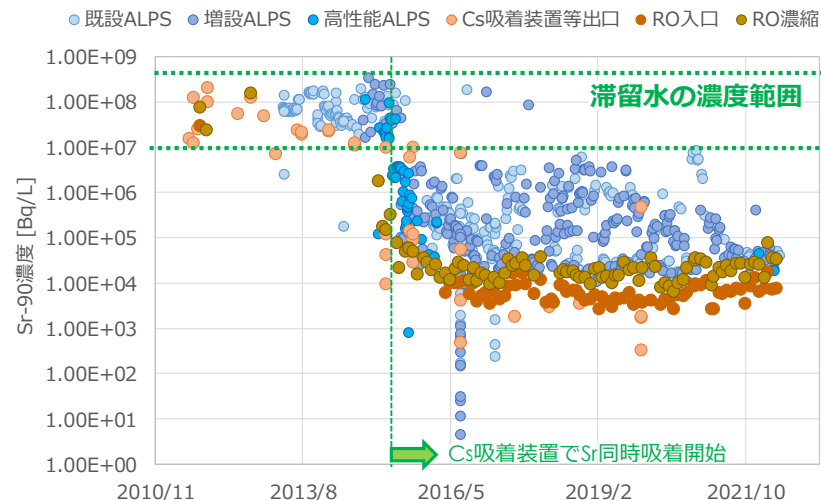
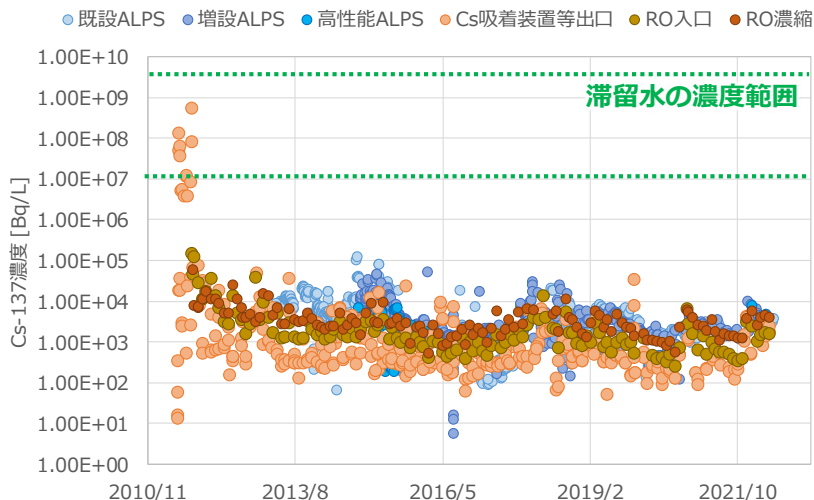


No.	主な採取箇所		
1	セシウム吸着装置出口	除染装置出口	
2	淡水化装置入口側		
3	淡水化装置濃縮側	蒸発濃縮装置入口	
4	既設ALPS入口※	増設ALPS入口※	高性能ALPS入口

※：既設ALPS、増設ALPSについては一部処理中の水も含む

【参考】 サンプルング場所とサンプルング方法@③ALPS処理前 (2/2) **TEPCO**

- ALPS処理前のデータを採取箇所毎に比較した結果、ALPS処理には若干のタイムラグがある以外、トレンドにはほとんど影響が見られないことから、同じ水として取り扱っている。また、セシウム等を選択的に吸着するセシウム吸着装置で処理対象ではない、Co-60やNi-59は集中Rwの濃度とそれほどの差異はない。



【参考】汚染水の分析方法

- 今回使用している分析データは、大きく分けると以下3つに分類可能。
- 今回使用した分析データの前処理有無は以下の通り。

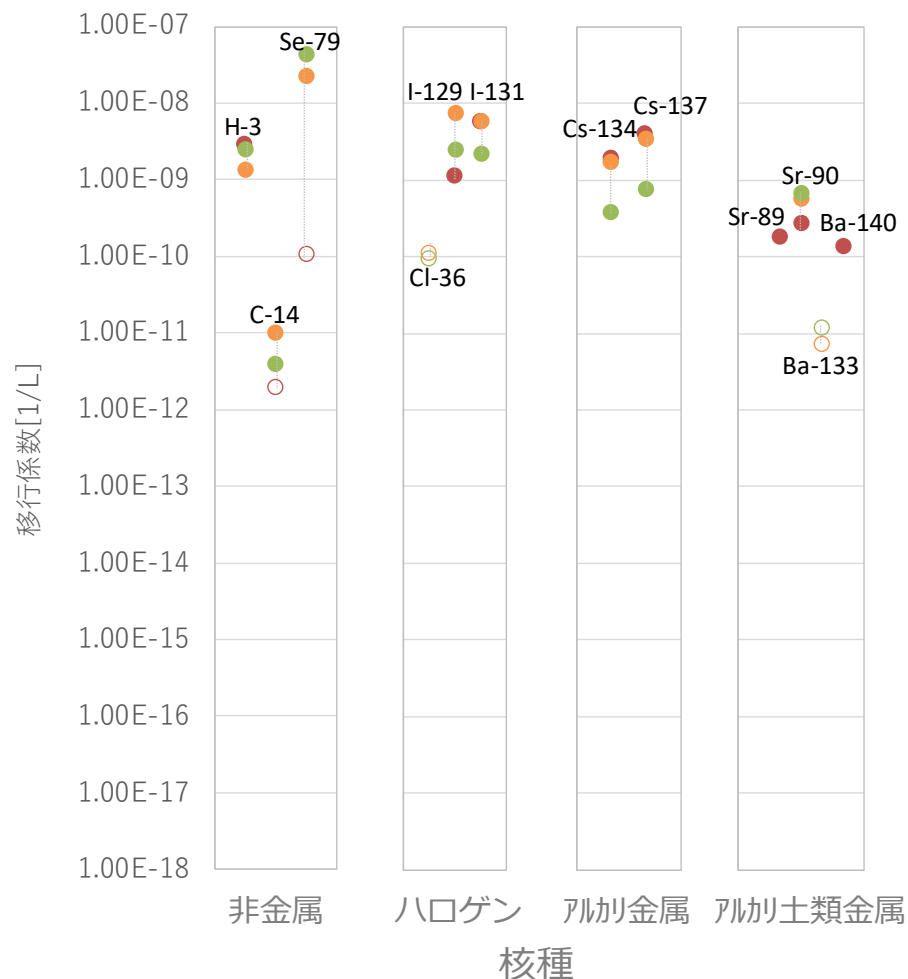
分類	対象核種	前処理有無
東電の通常分析	ALPS除去対象核種 C-14, H-3	依頼側から特段の依頼が無ければ、 受け取った試料をそのまま分析を実施* 。 ただし、線量の高い試料（滞留水等）については、 ラボ受け入れのための線量基準を満たす必要があり、 現場で希釈した上で持ち込み。
補助事業等での分析	H-3, C-14, Cl-36, Ca-41, Ni-59, Co-60, Ni-63, Se-79, Sr-90, Nb-94, Tc-99, Sn-126, I-129, Cs-137, Eu-152, Eu-154, U-233, U-234, U-235, U-236, U-238, Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-242, Cm-244, Cm-245, Cm-246	(運搬前の状態は確認中)。 通常的手法として、 汚染水の試料に沈殿物や浮遊物が認められた場合、それらが容易に沈降しなければ、よく混合した上で分取し、そのまま分析を実施。 (関係者への聞き取り) ⇒速やかに沈降する固形分(スラッジ等)が認められる場合は、ろ過後γ線測定し、有意な放射性Csが認められた場合に、詳細な放射性核種の分析へと進み、水と共に固形分のデータも示す)
今回の追加分析 (社外分析)	(P9~12参照)	分析開始前に、0.45μmのフィルタで濾した上で、分析を実施。

※：東電での各核種の分析の前処理方法については、第12回ALPS処理水審査会合のP88~98に記載した手法で実施

4.3 移行係数（1/3） [手順4]

■ 汚染水への移行を評価するに当たり、移行係数を評価した結果は下記の通り。なお、前述の通り、移行係数の評価には基本的に集中Rwの結果の最大値を使用することに加え、分析値のバラつきを考慮して、評価では桁上がりさせた移行係数を使用する。放射平衡や崩壊系列から生成される核種の移行係数については後述する。

- 1~4号機（検出） ○ 1~4号機（不検出） ● 集中Rw（検出）
- 集中Rw（不検出） ● ALPS処理前（検出） ○ ALPS処理前（不検出）

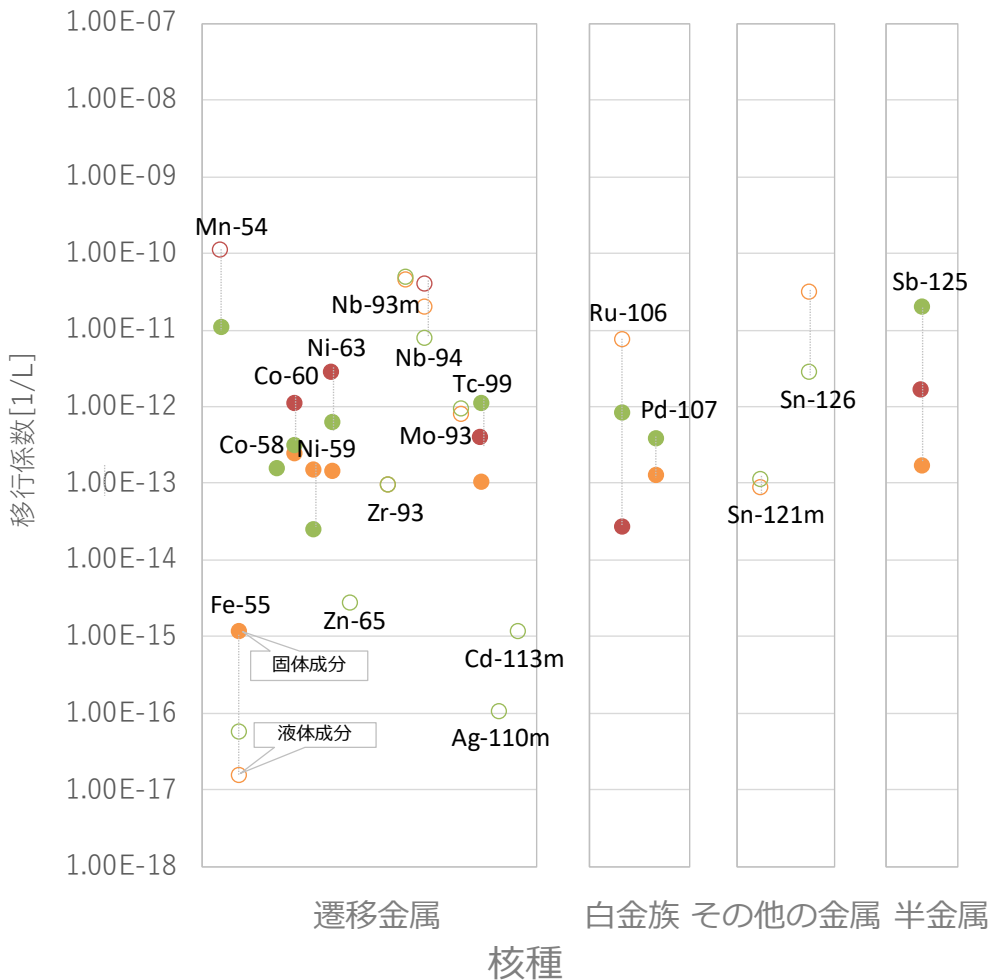


No.	グループ	移行係数※ [1/L]	適用元素	備考
1	非金属	トリウム	H	
2		炭素	C	
3		セレン	Se	
4	ハロゲン	塩素	Cl	
5		ヨウ素	I	
6	アルカリ金属	1.0E-08	Cs	
7	アルカリ土類金属	1.0E-09	Sr, Ba	

※：基本的に集中Rwの最大値の桁上がりの値を記載

4.3 移行係数 (2/3) [手順4]

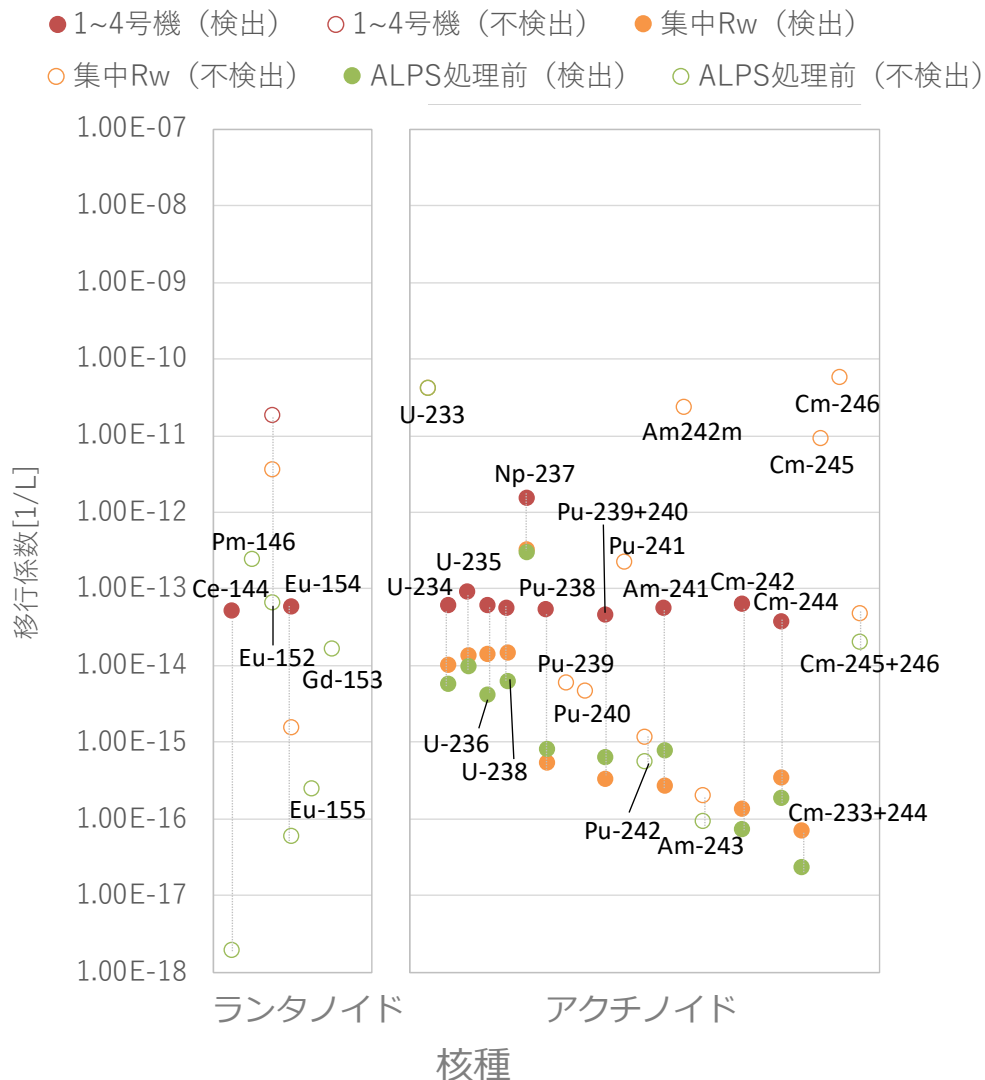
- 1~4号機 (検出) ○ 1~4号機 (不検出) ● 集中Rw (検出)
- 集中Rw (不検出) ● ALPS処理前 (検出) ○ ALPS処理前 (不検出)



No.	グループ	移行係数* [1/L]	適用 元素	備考
8	マンガン	1.0E-10	Mn	検出値のあるALPS処理前のデータを使用
9	鉄	1.0E-14	Fe	固体 (残渣)
		1.0E-16		液体
10	コバルト	1.0E-12	Co	Co-60のデータより
11	ニッケル	1.0E-12	Ni	Ni-63のデータより
12	亜鉛	1.0E-14	Zn	検出値なし
13	ジルコニウム	1.0E-13	Zr	検出値なし
14	ニオブ	1.0E-10	Nb	検出値なし
15	モリブデン	1.0E-11	Mo	検出値なし
16	テクネチウム	1.0E-11	Tc	
17	銀	1.0E-15	Ag	検出値なし
18	カドミウム	1.0E-14	Cd	検出値なし
19	白金族	1.0E-12	Ru, Pd, Pt	RuとPdのALPS処理前のデータを使用
20	その他の金属	1.0E-13	Sn, Tl	検出値がないため、Sn-121mの検出下限値を使用
21	半金属	1.0E-10	Sb	データ点数の多い、ALPS処理前のデータを使用

※：基本的に集中Rwの最大値の桁上がりの値を記載

4.3 移行係数 (3/3) [手順4]



No.	グループ	移行係数※ [1/L]	適用 元素	備考
22	ランタノイド	1.0E-13	Ce, Pm, Sm, Eu, Ho, Tm	集中Rw以降には 検出値がないため、 確認された中の最 大値 (3号機PCV 内) のCe-144, Eu-154の検出値を 使用
23	アクチノイド	ウラン	1.0E-13	U
24		プルトニウム	1.0E-12	Np
25		他アクチノイド	1.0E-15	Pu, Am, Cm, Cf

※：基本的に集中Rwの最大値の桁上りの値を記載

【補足】放射平衡で存在する核種の移行係数について

- [手順3]で残った核種のうち、放射平衡で存在する核種は下表の通り。
- これら核種の子孫核種は半減期が短く、ALPS処理水を海洋放出する震災後12年後には、基本的に親核種の崩壊によってのみ存在する核種となることから、**汚染水への移行評価では、親核種と一緒に挙動しているとみなして評価する。**

【親核種の結果と一緒に挙動していると評価する子孫核種】

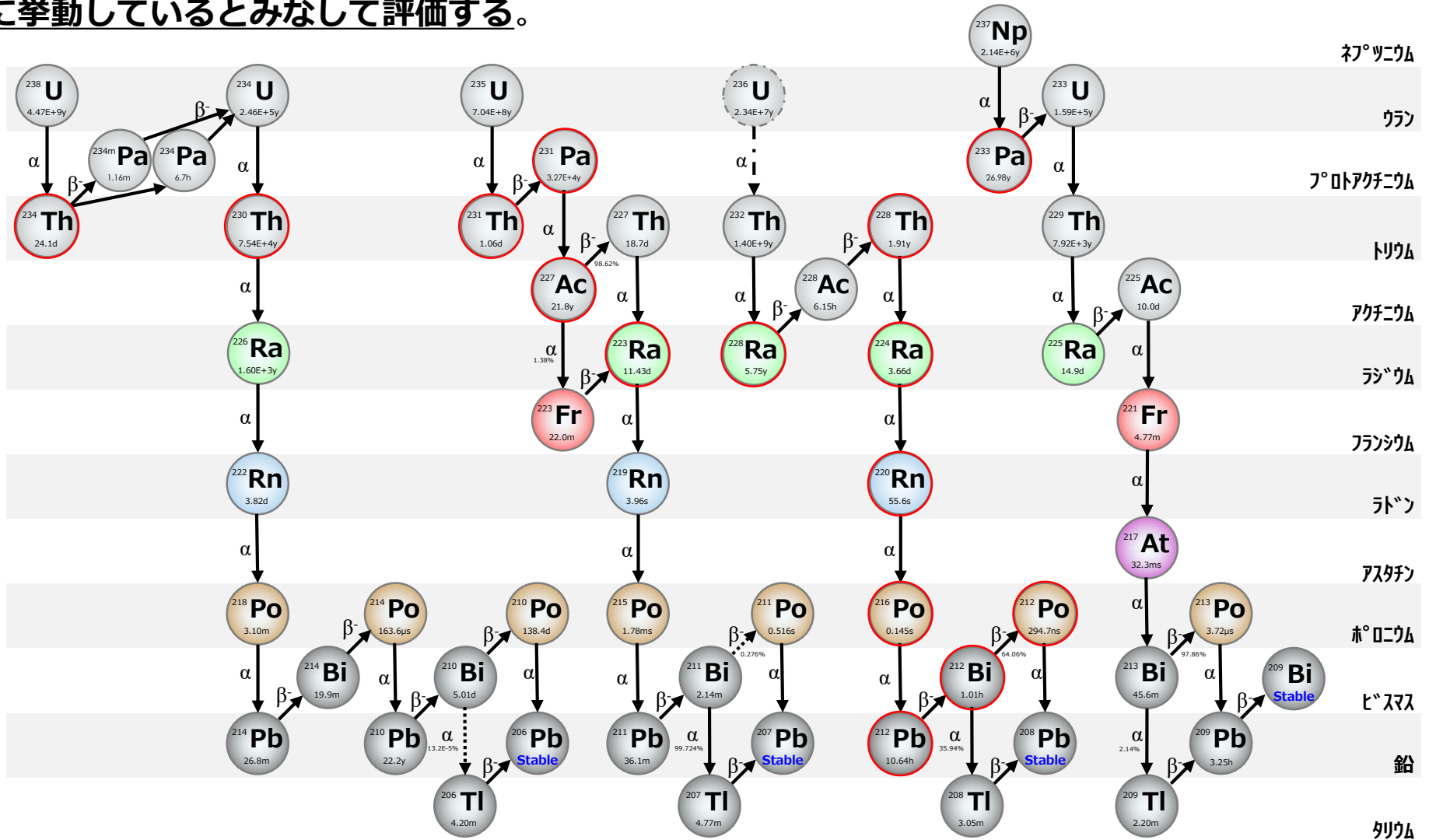
No.	親核種	半減期	子孫核種	半減期	備考
1	Sr-90	2.88E+01 [y]	Y-90	2.67 [d]	12年の経過を踏まえて、子孫核種は親核種と一緒に挙動をしていると考えられる。
2	Ru-106	1.02E+00 [y]	Rh-106	30.07 [s]	
3	Sn-121m	4.39E+01 [y]	Sn-121	1.13 [d]	
4	Sn-126	2.30E+05 [y]	Sb-126m Sb-126	19.15[m] 12.35 [d]	
5	Sb-125	2.76E+00 [y]	Te-125m	57.40 [d]	
6	Cs-137	3.01E+01 [y]	Ba-137m	2.552 [m]	
7	Ce-144	7.81E-01 [y]	Pr-144m Pr-144	7.2 [m] 17.28 [m]	
8	Pu-241	1.43E+01 [y]	U-237	6.752 [d]	
9	Am-242m	1.41E+02 [y]	Np-238	2.112 [d]	
10	Am-243	7.37E+03 [y]	Np-239	2.356 [d]	

【放射平衡でも別で評価する子孫核種】

No.	親核種	半減期	子孫核種	半減期	備考
1	Zr-93	1.61E+6 [y]	Nb-93m	1.61E+1 [y]	半減期が長く、現在も放射平衡に達していないため、親核種と子孫核種は別評価

【補足】崩壊系列によって存在する核種の移行係数について

- [手順3]で残った核種のうち、崩壊系列によって存在している核種（初°ツニウムやウラン除く）は下図の赤枠の通り。これら核種について、汚染水への移行評価では、大元の親核種（初°ツニウムやウラン）と一緒に挙動しているとみなして評価する。



ウラン系列

アクチニウム系列

トリウム系列

ネプツニウム系列

【参考】移行係数の設定

■ 各核種の移行係数は下表の青枠もしくは、グループ内の代表元素から設定

黒字：242核種[手順2カア]、赤字：93核種[手順3カア（放射平衡、崩壊系列除く）]、薄字：左記以外の核種

青枠：移行係数を算出した核種

非金属													希ガス														
アルカリ金属													ハロゲン														
1 H															2 He												
3 Li	4 Be	アルカリ土類金属										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne										
11 Na	12 Mg	遷移金属										13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar										
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr										
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe										
55 Cs	56 Ba	ランタノイド	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn										
87 Fr	88 Ra	アクチノイド	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Dg	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og										
各崩壊系列													他アクチノイド														
ランタノイド													ネプツニウム														
ランタノイド													ウラン														
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu													
アクチノイド													他アクチノイド														
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr													