

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11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

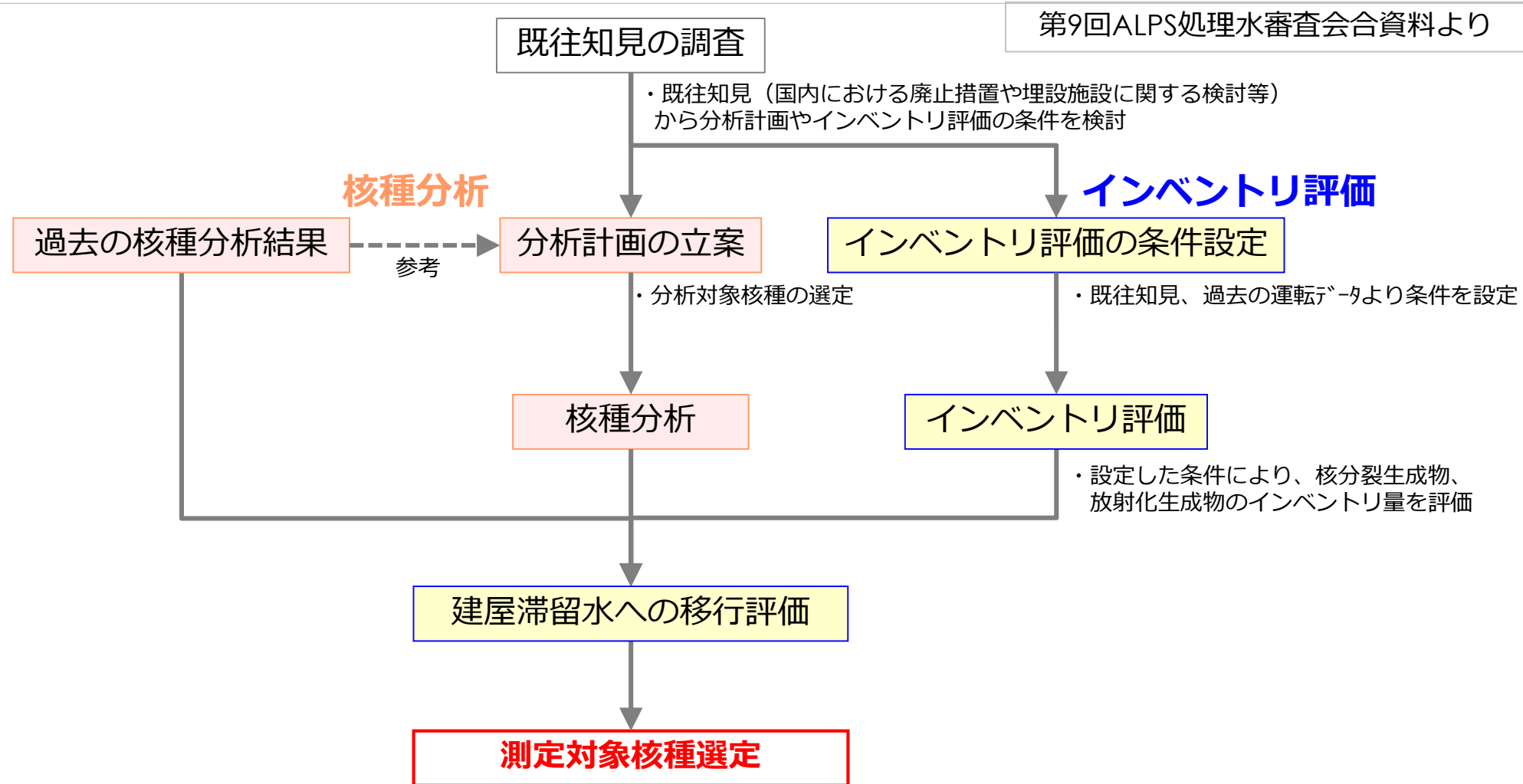
- 多核種除去設備等処理水の主要7核種に炭素14及びテクネチウム99を加えた放射能濃度の分析結果の合計値と全β測定値において、現行の64核種以外の放射性核種の存在を疑わせるようなかい離は認められていないことや、ALPS処理水を海洋放出する時点においては、十分に減衰して存在量が十分少なくなっているALPS除去対象核種も考えられること等から、トリチウム以外の放射性核種の告示濃度限度比総和1未満を満足すると考えている。
- この上で、告示濃度限度比総和1未満を満足することを確実なものとするため、国内における廃止措置や埋設施設に関する知見を踏まえ、汚染水中に有意に存在するか徹底的に検証を実施した上で、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

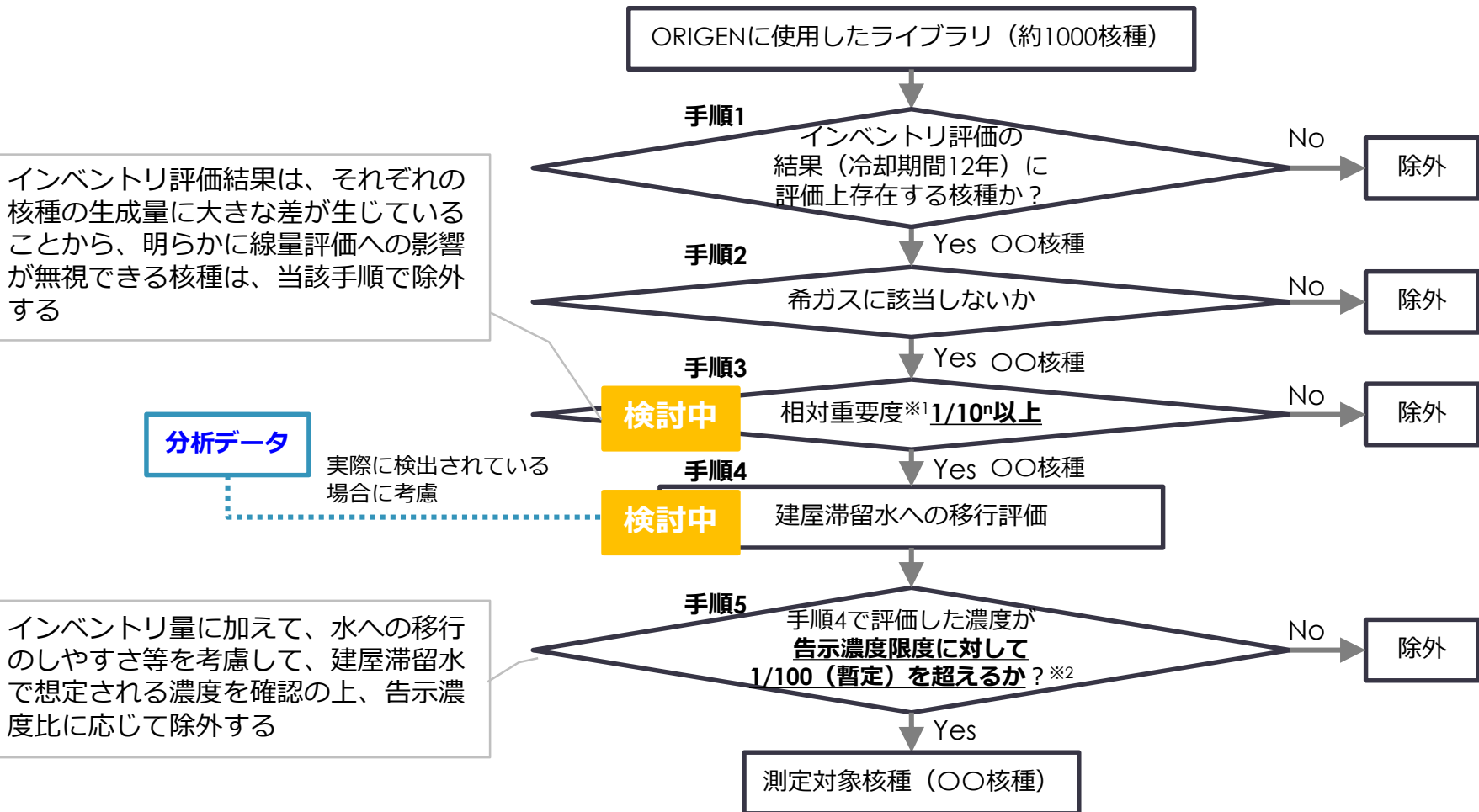


- ・ β ・ γ 核種は、告示濃度限度比を基準に測定対象核種を選定
- ・ α 核種は、全 α で測定を行うことから、全 α の結果に含まれることを確認

【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

- これまでに、EPRIとも測定・評価対象核種の検討方法を相談する中で、P4, 5で説明した核種の選定方法や選定フローは、廃止措置等で国際的に実施されている、下表の核種選定の①～④の考えと合致しているという意見を頂いている。

| ロジック | 内容 |
|----------------------|---|
| ① プラント内に存在する放射性核種の確認 | 廃棄物の分析、インベントリ評価およびその他利用可能な方法を用いて、プラント内に存在する放射性核種を確認 |
| ② 短半減期の放射性核種の除外 | |
| ③ 線量影響を無視可能な放射性核種の除外 | |
| ④ 支配的な核種との比較での除外 | Co-60, Sr-90, Cs-134, Cs-137などの支配的な放射性核種と比較して、非常に低濃度で存在する放射性核種の除外 |

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**※（現時点でSe-79、Pd-107は分析中）。

※：告示濃度限度の1/100以下で検出限界値未満、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

第9回ALPS処理水審査会合資料より

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 | |

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（Se-79とPd-107は分析中）。

⇒ 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 | | | | < 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 | | | | < 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 | | | | < 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 | | | | < 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 | | | | < 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）

| 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 | 二 | < 4.2E+00 | < 5.5E+00 | < 3.9E+00 | < 3.7E+00 | < 4.3E+00 |
| Ca-41 | 4.0E+03 | 二 | < 7.9E+00 | < 7.9E+00 | < 7.4E+00 | < 1.9E+01 | < 1.4E+01 |
| Zr-93 | 1.0E+03 | ろ液 | < 8.5E-01 | < 8.5E-01 | < 8.5E-01 | < 8.5E-01 | < 8.5E-01 |
| | | 残渣 | | | | <u>< 1.3E+00</u> | <u>< 1.3E+00</u> |
| Ba-133 | 5.0E+02 | 二 | < 7.3E-01 | < 7.0E-01 | < 7.0E-01 | < 4.3E+00 | < 2.6E+00 |
| Se-79 | 2.0E+02 | 二 | —※2 | —※2 | 測定中※3 | 測定中※3 | 測定中※3 |
| Pd-107 | 2.0E+04 | 二 | —※2 | —※2 | 測定中※3 | 測定中※3 | 測定中※3 |

※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：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

※3：10月末に結果取得予定

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=λw/A×N_Aより算出（X：放射エネルギー、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 | <u>2.8E-01</u> | <u>1.2E+00</u> |
| | | 残渣 | | | | <u>4.1E-01</u> | <u>2.8E+00</u> |
| Pu-239 +Pu-240 | 8.0E+00 | ろ液 | < 1.9E-03 | < 1.9E-03 | < 1.9E-03 | <u>9.1E-02</u> | <u>3.9E-01</u> |
| | | 残渣 | | | | <u>1.4E-01</u> | <u>9.2E-01</u> |
| Pu-242 | 4.0E+00 | ろ液 | < 1.9E-03 | < 2.2E-03 | < 1.9E-03 | <u>< 4.4E-03</u> | <u>< 7.9E-03</u> |
| | | 残渣 | | | | <u>< 6.1E-03</u> | <u>< 1.3E-02</u> |
| Am-241 | 5.0E+00 | ろ液 | < 1.8E-03 | < 1.8E-03 | < 1.8E-03 | <u>6.8E-02</u> | <u>4.0E-02</u> |
| | | 残渣 | | | | <u>1.2E-01</u> | <u>5.7E-01</u> |
| Am-243 | 5.0E+00 | ろ液 | < 1.5E-03 | < 1.5E-03 | < 1.5E-03 | <u>< 7.7E-03</u> | <u>< 5.1E-03</u> |
| | | 残渣 | | | | <u>< 5.5E-03</u> | <u>< 1.7E-02</u> |
| Cm-242 | 6.0E+01 | ろ液 | < 1.5E-03 | < 1.5E-03 | < 1.6E-03 | <u>< 1.6E-03</u> | <u>< 1.5E-03</u> |
| | | 残渣 | | | | <u>5.5E-03</u> | <u>9.9E-03</u> |
| Cm-243 +Cm244 | 1.3E+01 | ろ液 | < 1.5E-03 | < 1.5E-03 | < 1.8E-03 | <u>6.4E-02</u> | <u>2.7E-02</u> |
| | | 残渣 | | | | <u>9.1E-02</u> | <u>4.4E-01</u> |
| Cm244 +Cm245 | 1.0E+01 | ろ液 | < 1.5E-03 | < 4.7E-03 | < 1.5E-03 | <u>< 2.1E-02</u> | <u>< 1.4E-02</u> |
| | | 残渣 | | | | <u>< 2.6E-02</u> | <u>< 6.0E-02</u> |

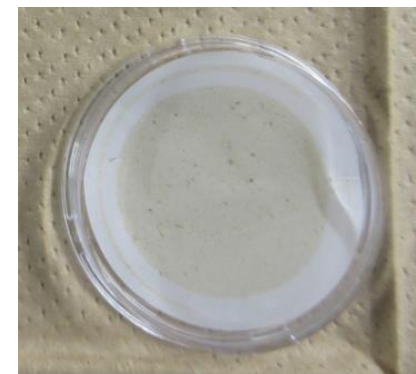
※1：目視で懸濁物、浮遊物が確認されたALPS処理前水、PMB水について、0.45μmのフィルタでろ過した後、分析を実施

【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、 $0.45\mu\text{m}$ 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）

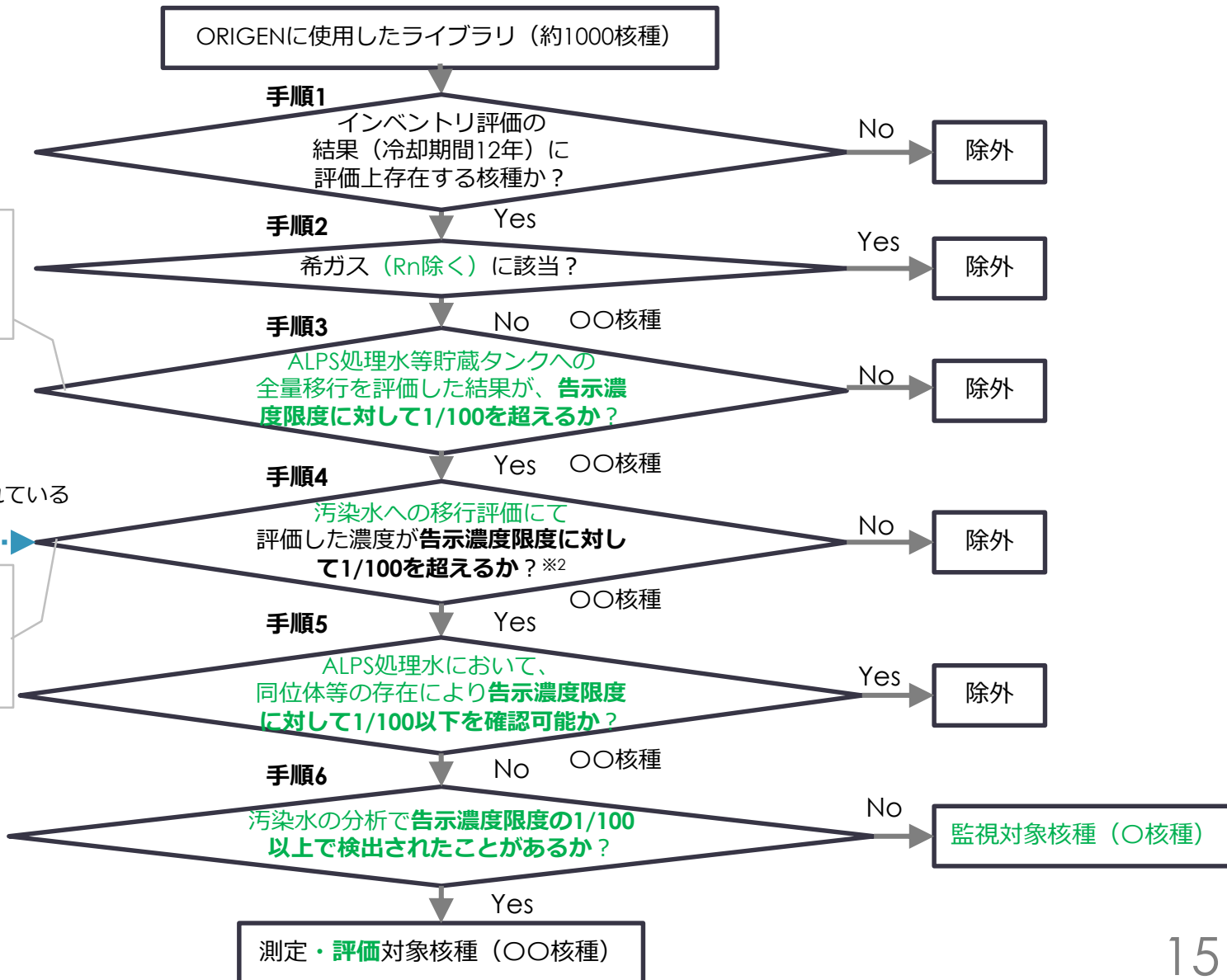
■ 選定フローについては、審査会合時より**緑字**の部分の変更を検討中。

インベントリ評価結果は、それぞれの核種の生成量に大きな差が生じていることから、明らかに線量評価への影響が無視できる核種は、当該手順で除外する

分析データ

実際に検出されている場合に考慮

インベントリ量に加えて、水への移行のしやすさ等を考慮して、建屋滞留水で想定される濃度を確認の上、告示濃度比に応じて除外する



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 ($1E15\sim 17$ [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※（34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 $1E+12$ Bq/core（短期）, $1E+09$ Bq/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 ($1E-05$ Bq) 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34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

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

(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)

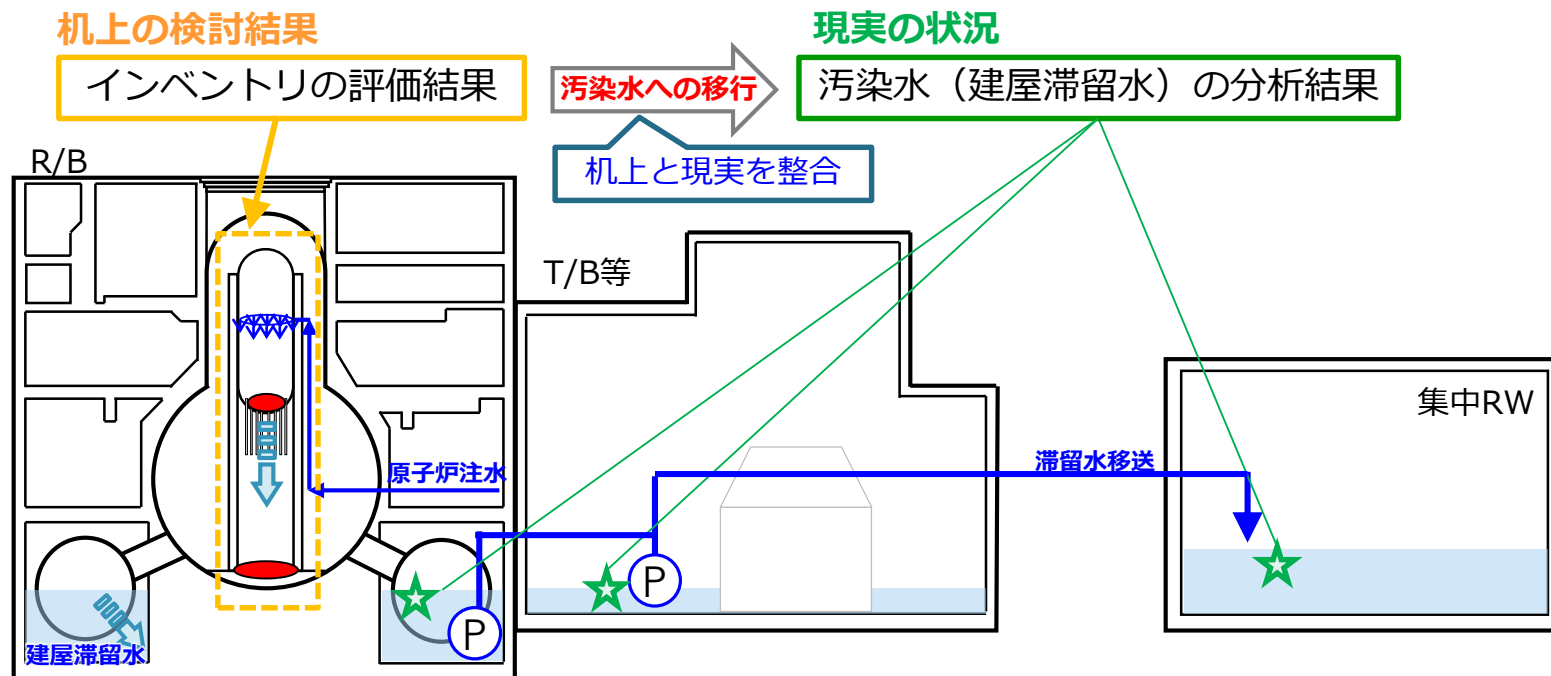
- 測定・評価対象核種の選定では、机上で検討したインベントリ評価と、現実の状況を確認した核種分析の結果の双方のデータを使用して、汚染水への移行評価を行う。
- 現在検討中の主な手法として、汚染水の分析結果から、インベントリから汚染水への移行の程度を"移行係数"として評価し、これを使用して汚染水中の濃度を評価することを検討中。

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

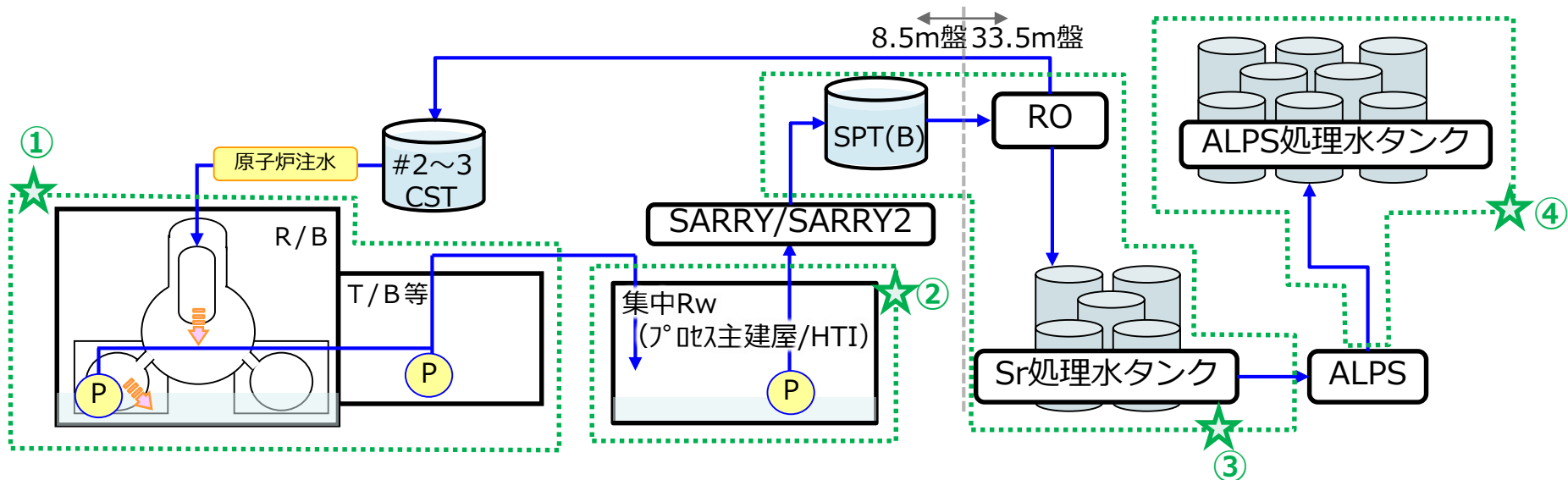
- なお、[手順4]以降で、除外基準を告示濃度限度の1/100としているのは、線量評価に与える影響が十分小さいことに加えて、核種数が100核種以下であり、仮に1/100であっても"告示濃度比総和1未満"を満足できることを踏まえて設定している。



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**。

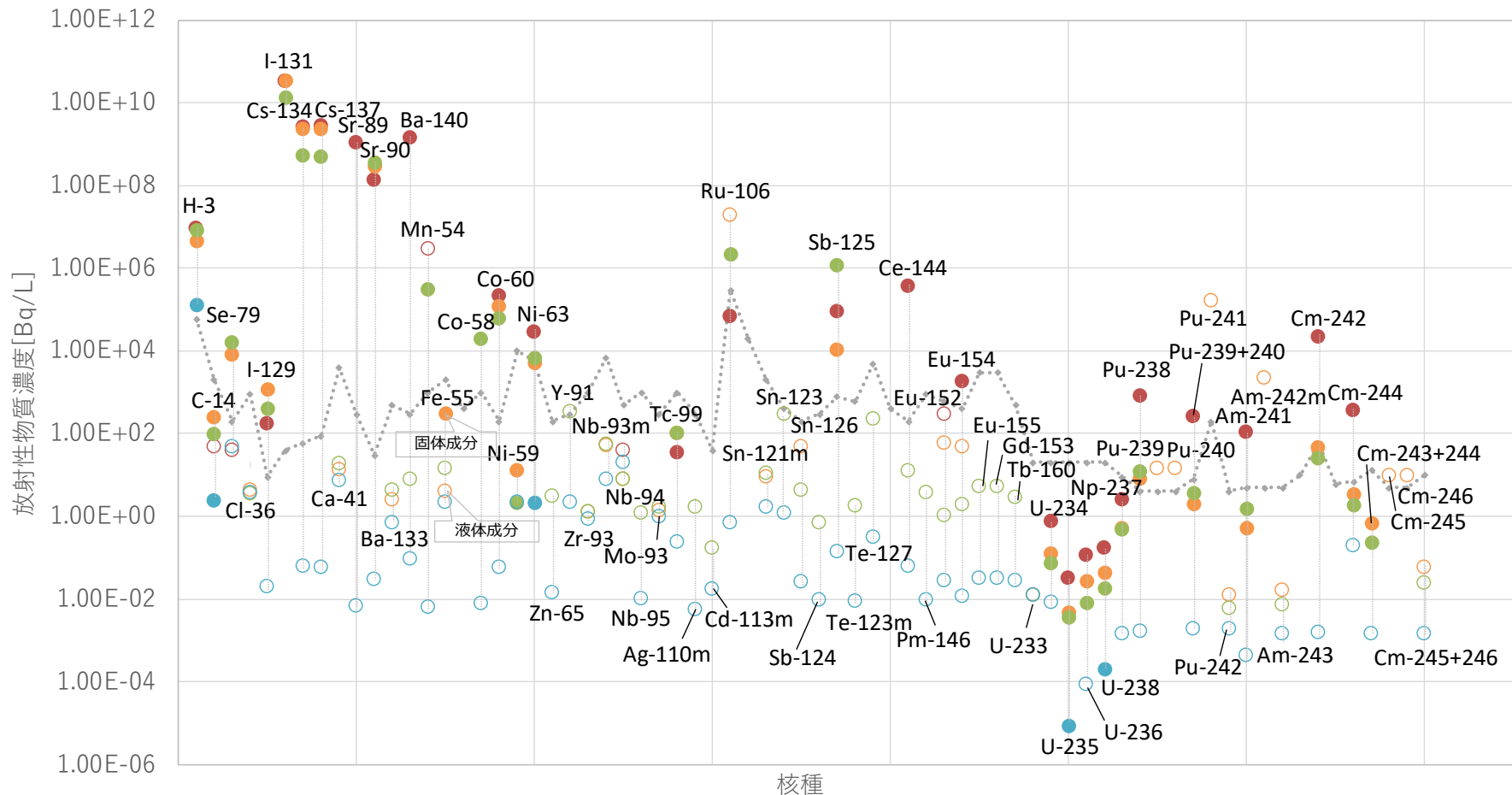
：[手順2]で除外される核種（5核種） ：[手順3]で除外される核種（149核種）

| | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
| 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 | |

4.2 分析結果まとめ[手順4]

- 4箇所分類した分析結果を、まとめて表示すると下図の通り。
- 下記グラフでは、No.①～③は検出値について2011年3月11日まで減衰補正した最大値を、不検出値について分析データの最小値を記載。No.④はこれまでの分析結果の最小値を記載。

- 告示濃度限度
- 集中Rw (検出)
- 集中Rw (不検出)
- ALPS処理前 (不検出)
- 1~4号機 (検出)
- 1~4号機 (不検出)
- ALPS処理前 (検出)
- ALPS処理後 (不検出)
- ALPS処理後 (検出)



※：La-140は半減期が短く（1.68日）、分析で確認された2011年4月上旬でも、主にBa-140から生成されているため未記載。

【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) | 14 (8) | 46 (11) | 4 (0) |
| 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) | 0 (0) | 0 (0) | 0 (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) |

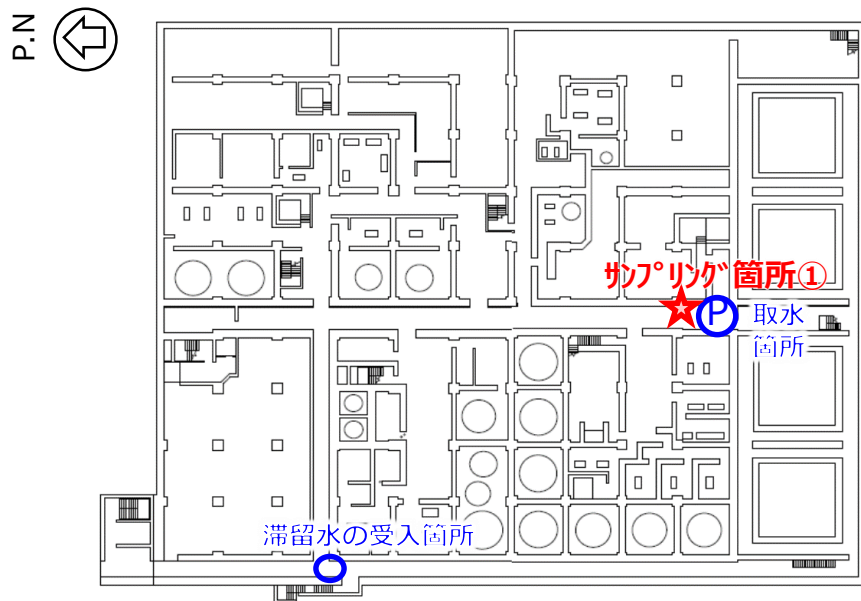
※：ALPS処理水もしくは分析のために添加した試料等に含まれる天然ウランを検出 (P11)

【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) | 0 (8) |
| 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】 サンプリング場所とサンプリング方法@②集中Rw (1/2) TEPCO

- 今回使用する分析データの基本とする、集中Rwの分析結果は以下の箇所から採取した試料を使用。

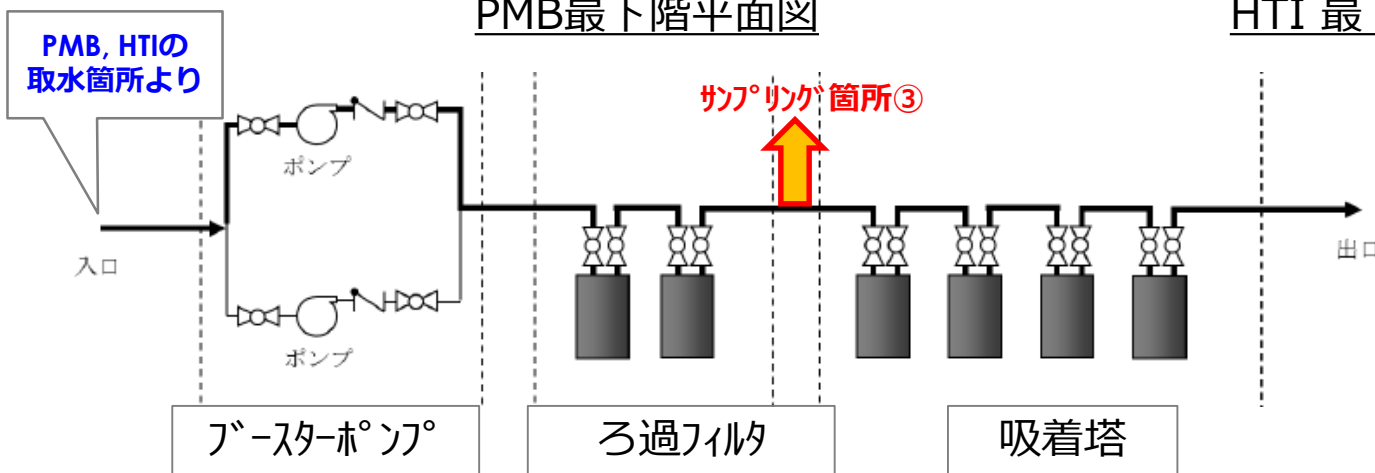


集中Rwには、建屋の最下階の取水ポンプ近傍にサンプリングポンプを設置しており、定期的にこれを稼働して採取している。



PMB最下階平面図

HTI最下階平面図



セシウム吸着装置入口 (例：SARRY2※1)

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と同様の水として取り扱っている※2。

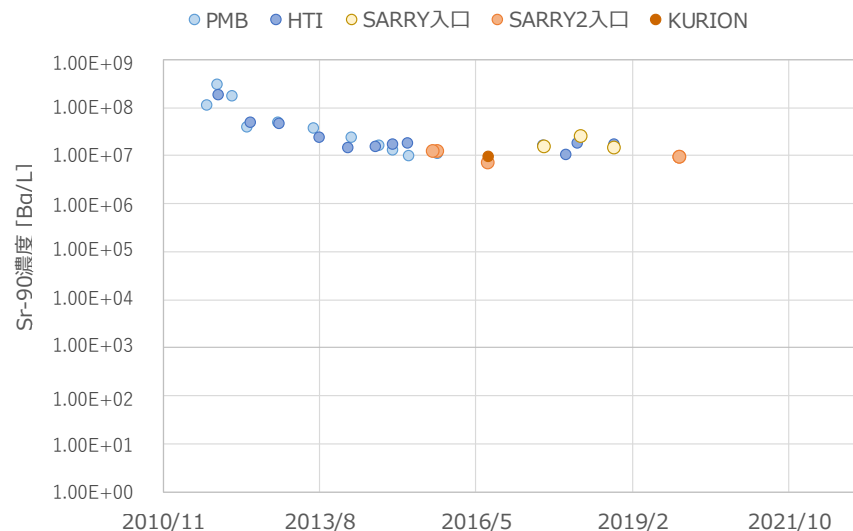
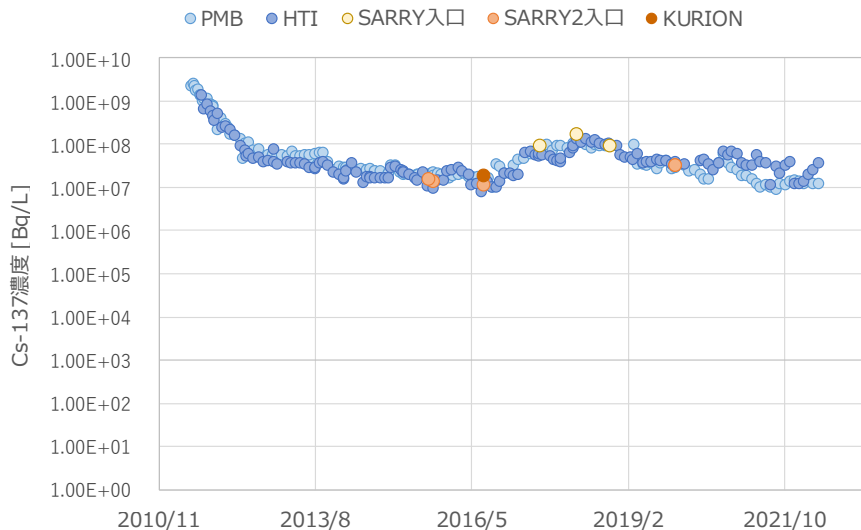
※2：吸着塔保護用に設置されたろ過フィルタ後の水を採取しており、過去の実績より、取水元の滞留水と分析値に有意な差がないことを確認済。

※1：KURION、SARRYも同様

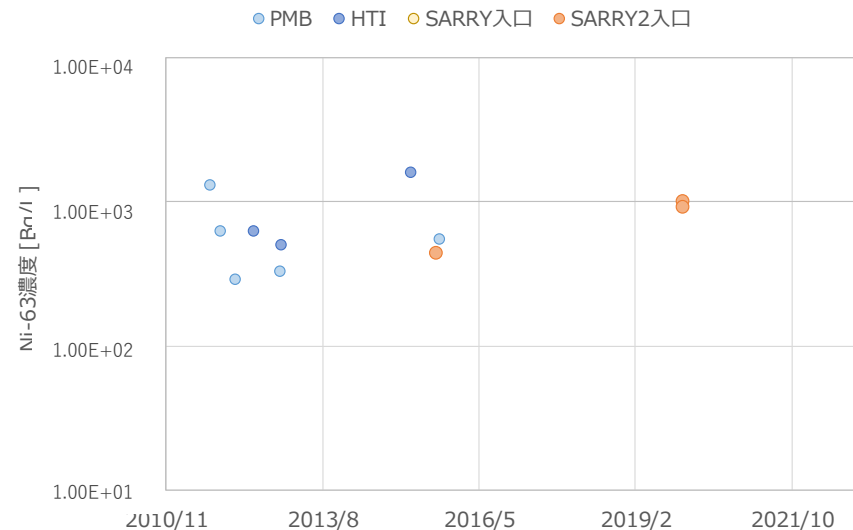
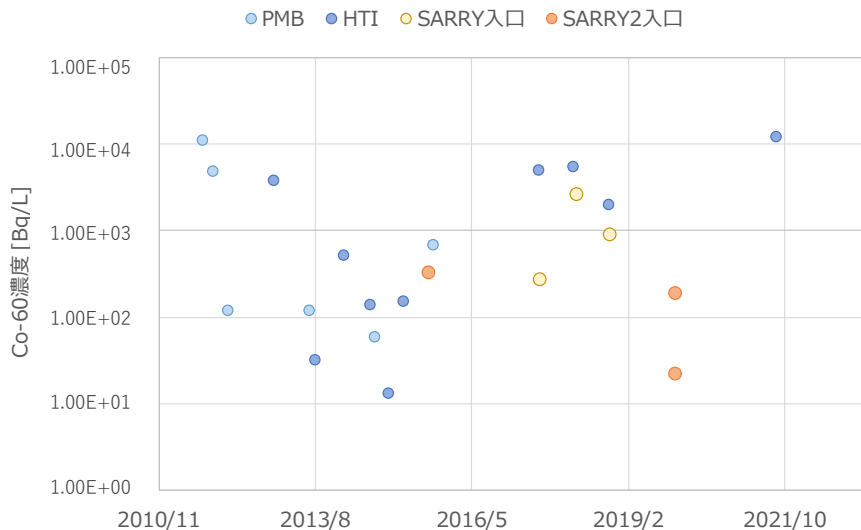
【参考】 サンプルング場所とサンプルング方法@②集中Rw (2/2)



- 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。

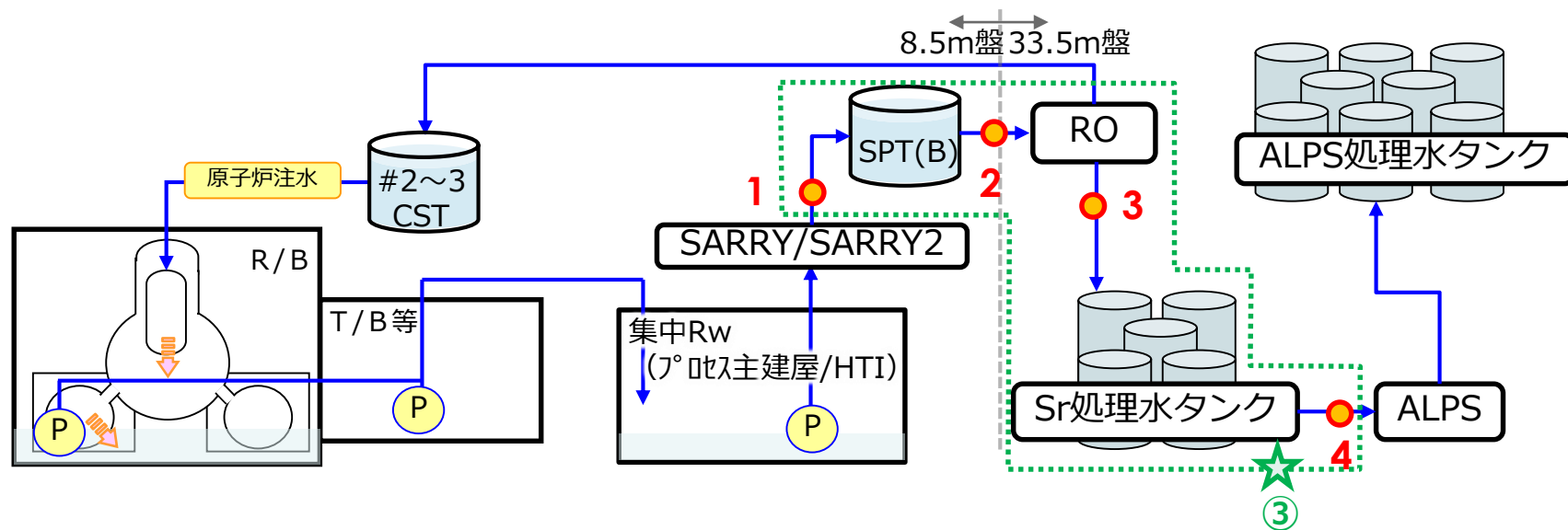


t121



【参考】 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。

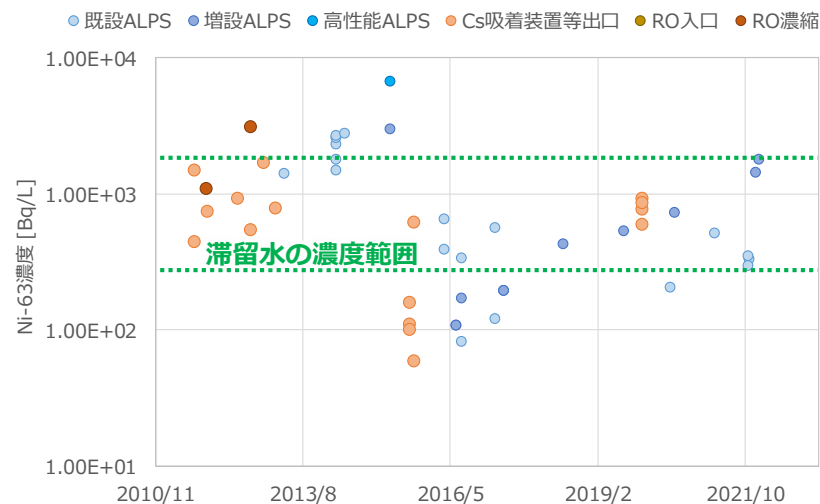
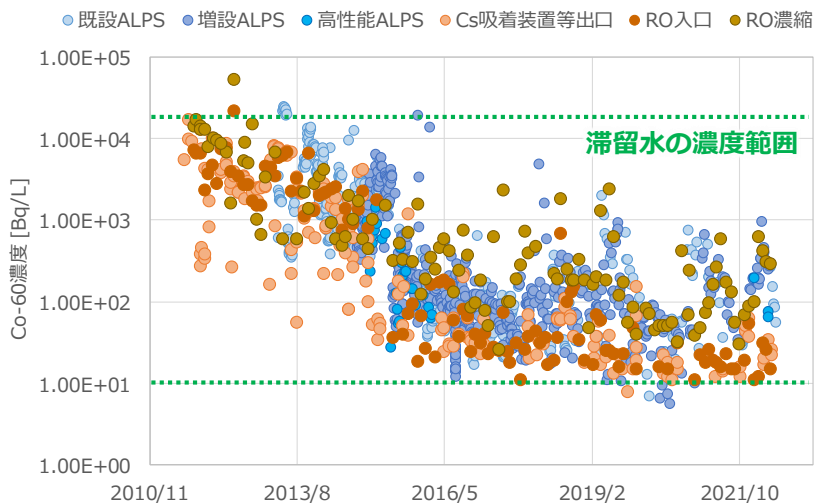
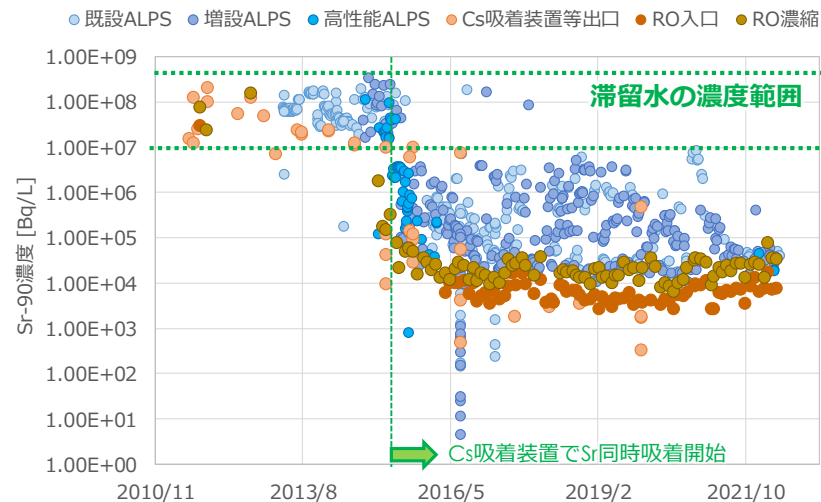
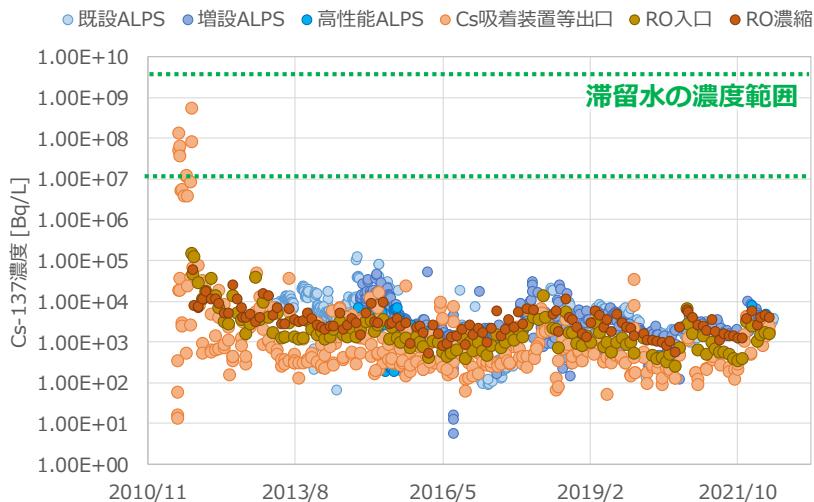


| No. | 主な採取箇所 | | |
|-----|------------|-----------|-----------|
| 1 | セシウム吸着装置出口 | 除染装置出口 | |
| 2 | 淡水化装置入口側 | | |
| 3 | 淡水化装置濃縮側 | 蒸発濃縮装置入口 | |
| 4 | 既設ALPS入口※ | 増設ALPS入口※ | 高性能ALPS入口 |

※：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。

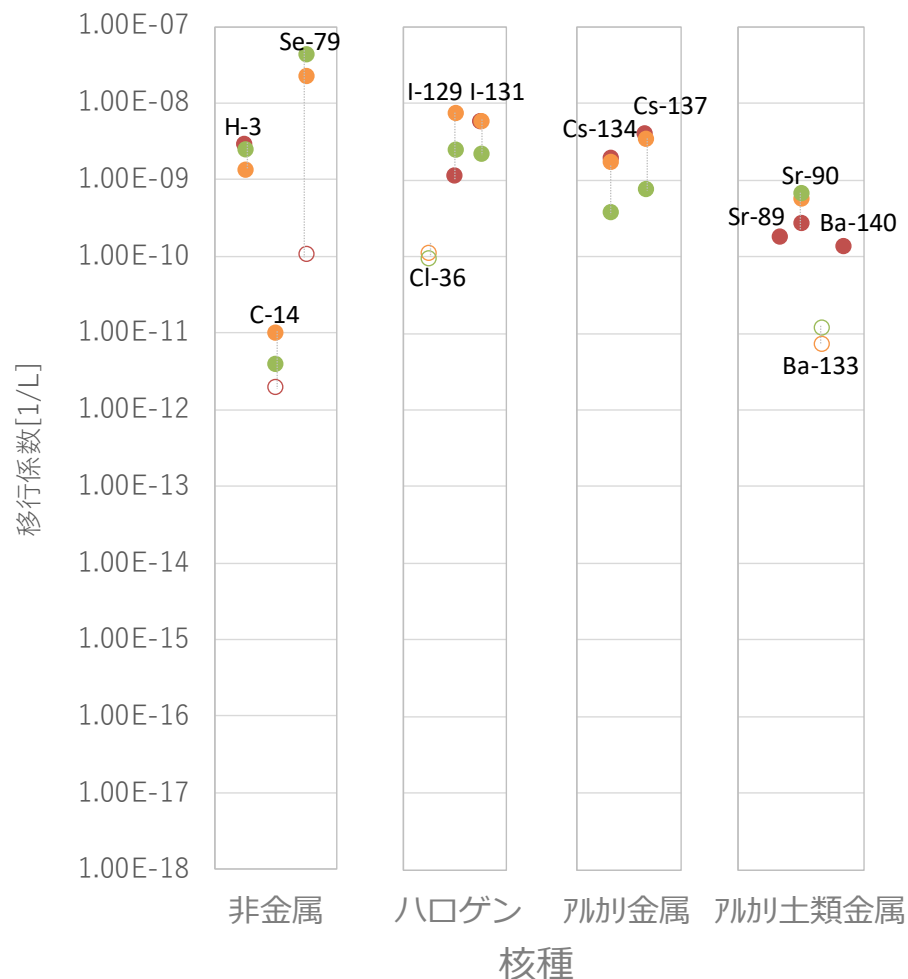
| 分類 | 対象核種 | 前処理有無 |
|-------------------|---|---|
| 東電の通常分析 | ALPS除去対象核種 C-14, H-3 | 依頼側から特段の依頼が無ければ、 受け取った試料をそのまま分析を実施* 。 ただし、線量の高い試料（滞留水等）については、 ラボ受け入れのための線量基準を満たす必要があり、 現場で希釈した上で持ち込み。 |
| 補助事業等での分析 | H-3, C-14, Cl-36, Ca-41, Ni-59, Co-60, Ni-63, Se-79, Sr-90, Nb-94, Tc-99, Sn-126, I-129, Cs-137, 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。

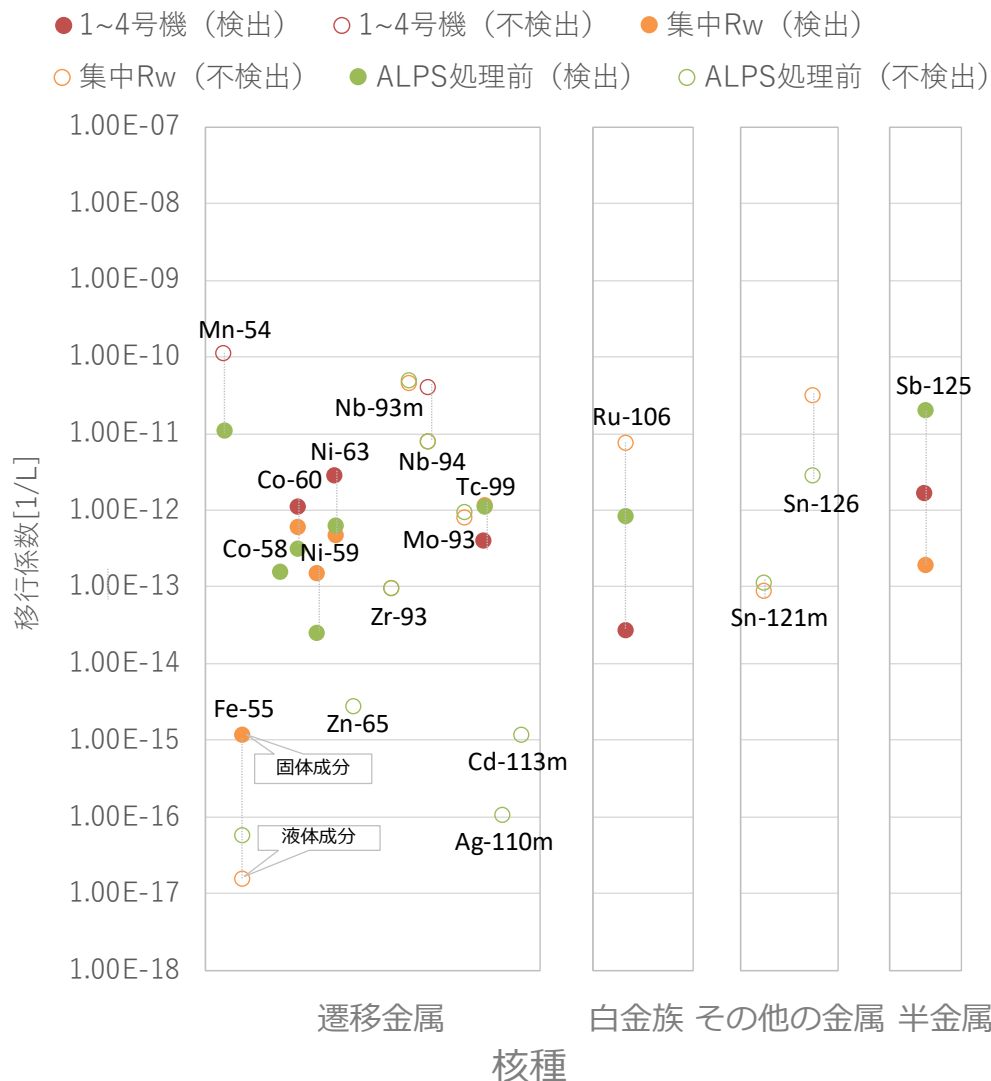
- 1~4号機（検出） ○ 1~4号機（不検出） ● 集中Rw（検出）
- 集中Rw（不検出） ● ALPS処理前（検出） ○ ALPS処理前（不検出）



| 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

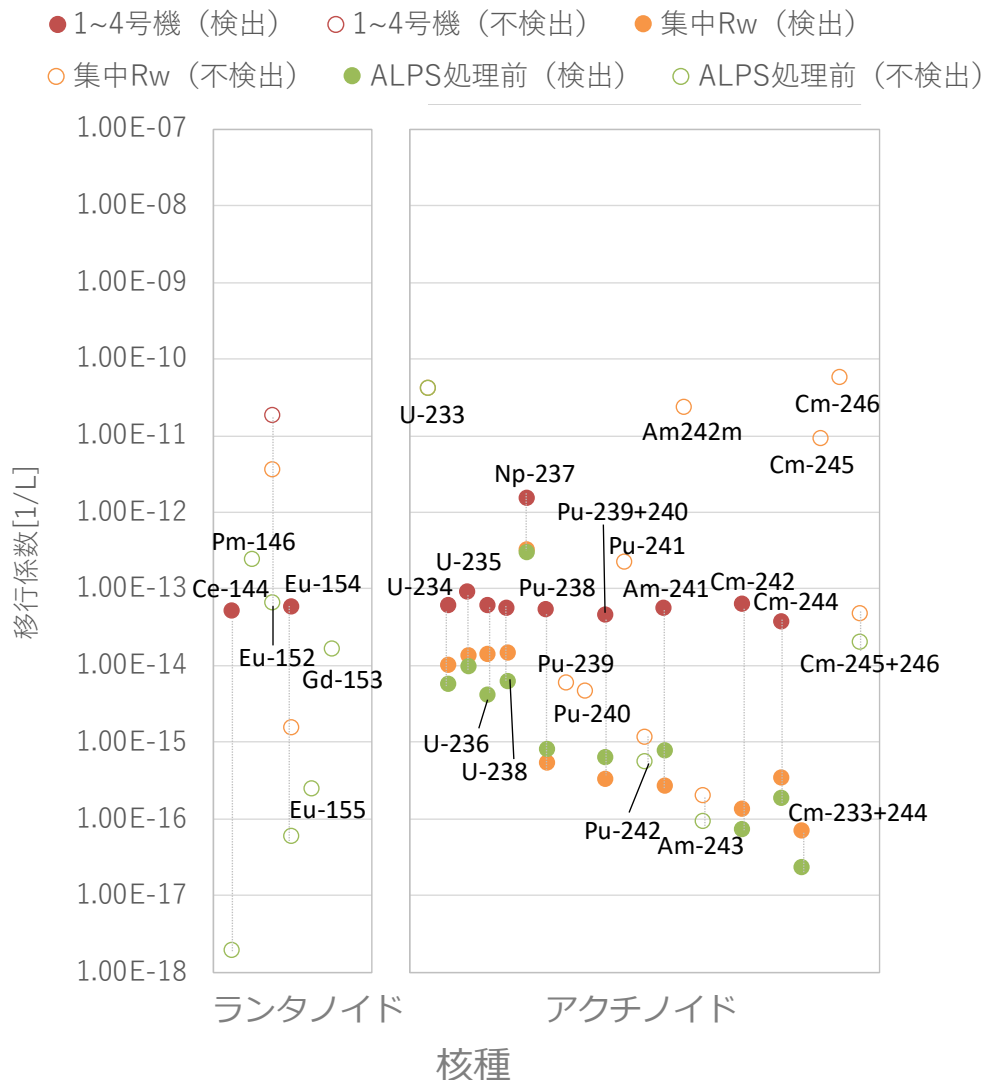
4.3 移行係数 (2/3) [手順4]



| 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-11 | Ru, Pd, Pt | Ruは集中Rwでは 不検出なため、 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 限值を使用 |
| 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】

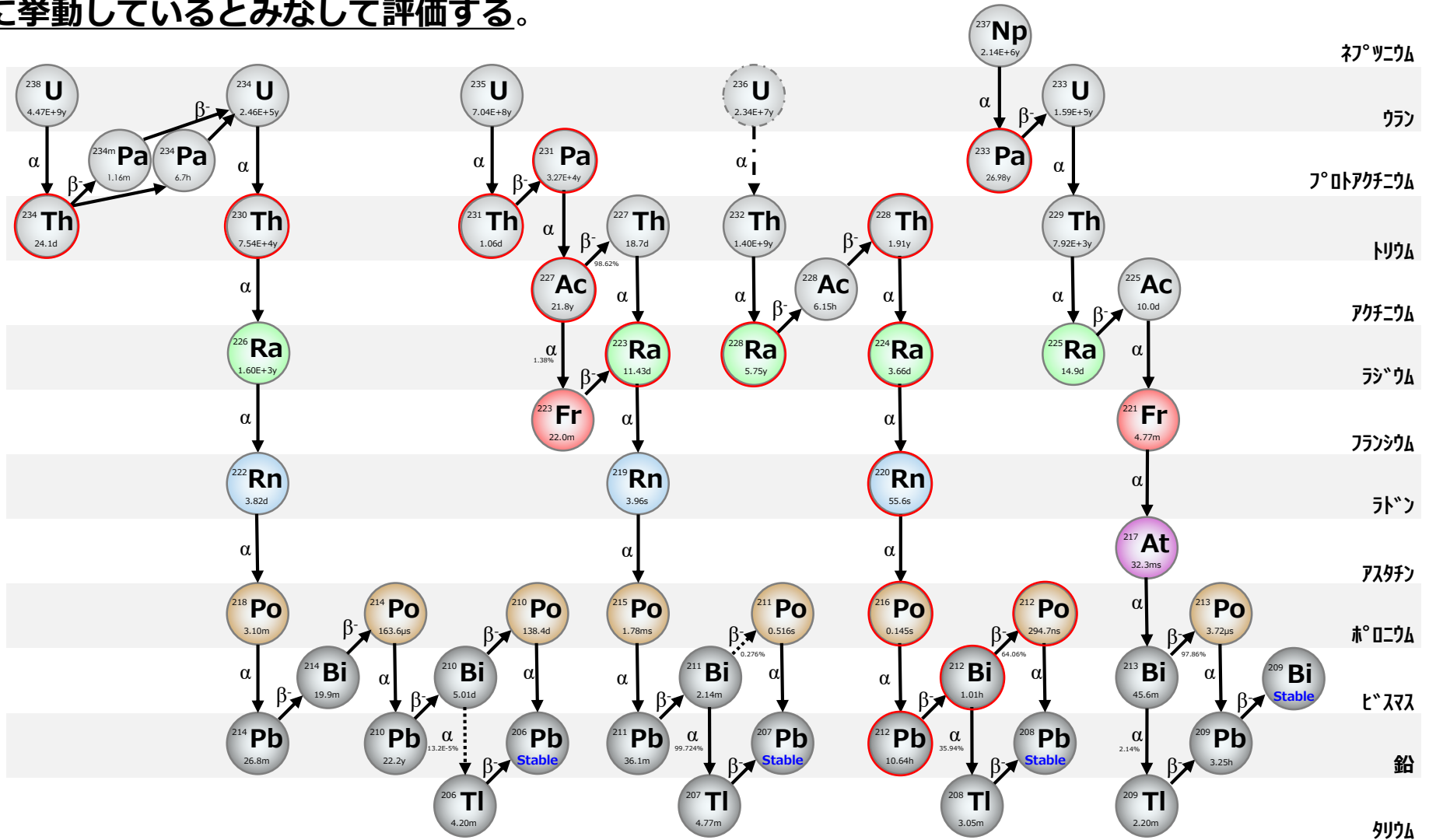
| No. | 親核種 | 半減期 | 子孫核種 | 半減期 | 備考 |
|-----|---------|--------------|-------------------|-----------------------|--|
| 1 | Sr-90 | 2.88E+01 [y] | Y-90 | 2.67 [d] | 12年の経過を踏まえて、子孫核種は親核種と一緒に挙動をしていると考えられる。 |
| 2 | Ru-106 | 1.02E+00 [y] | Rh-106 | 30.07 [s] | |
| 3 | Sn-121m | 4.39E+01 [y] | Sn-121 | 1.13 [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

 ：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 | | | | | | | | | | | | |
| アルカリ土類金属 | | | | | | | | | | | | | 半金属 | | | | | | | | | | | | |
| 遷移金属 | | | | | | | | | | | | | その他の金属 (ポスト遷移金属) | | | | | | | | | | | | |
| 白金族 | | | | | | | | | | | | | 非金属 | | | | | | | | | | | | |
| ランタノイド | | | | | | | | | | | | | 各崩壊系列 | | | | | | | | | | | | |
| アクチノイド | | | | | | | | | | | | | ランタノイド | | | | | | | | | | | | |
| ウラン | | | | | | | | | | | | | ネプツニウム | | | | | | | | | | | | |
| 他アクチノイド | | | | | | | | | | | | | ランタノイド | | | | | | | | | | | | |
| ランタノイド | | | | | | | | | | | | | アクチノイド | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|
| 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | 18 | 19 | | | | | | |
| H | He | | | | | | | | | | | | | | | | | Ar | Kr | | | | | | |
| 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | 18 | 19 | | | | | | |
| Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | | | Ar | Kr | | | | | | |
| 11 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | 18 | 19 | | | | | | |
| Na | Mg | | | | | | | | | | | | | | | | | Ar | Kr | | | | | | |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | | | | | | | | |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | | | | | | | | |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | | | | | | | | |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | | | | | | | | |
| 55 | 56 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | | | | | | | | | |
| Cs | Ba | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | | | | | | | | | |
| 87 | 88 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | | | | | | | | | |
| Fr | Ra | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Dg | Rg | Cn | Nh | Fl | Mc | Lv | Ts | Og | | | | | | | | | |
| 各崩壊系列 | | | | | | | | | | | | | ランタノイド | | | | | | | | | | | | |
| ランタノイド | | | | | | | | | | | | | ウラン | | | | | | | | | | | | |
| ランタノイド | | | | | | | | | | | | | ネプツニウム | | | | | | | | | | | | |
| ランタノイド | | | | | | | | | | | | | 他アクチノイド | | | | | | | | | | | | |
| ランタノイド | | | | | | | | | | | | | ランタノイド | | | | | | | | | | | | |
| ランタノイド | | | | | | | | | | | | | アクチノイド | | | | | | | | | | | | |
| ランタノイド | | | | | | | | | | | | | ランタノイド | | | | | | | | | | | | |
| ランタノイド | | | | | | | | | | | | | アクチノイド | | | | | | | | | | | | |