

福島第一原子力発電所
特定原子力施設への指定に際し
東京電力株式会社福島第一原子力発電所に
対して求める措置を講ずべき事項について
等への適合性について（案）
（ALPS 処理水の海洋放出に係る
運用体制の変更及び
測定・評価対象核種の選定について）
補足説明資料

令和4年12月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1 章 特定原子力施設の保安

1.1 特定原子力施設の保安のために措置を講ずべき事項への適合性	1-1
--	-----

1 章 特定原子力施設の保安

1.1 特定原子力施設の保安のために措置を 講ずべき事項への適合性

特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について（平成 24 年 11 月 7 日原子力規制委員会決定）

（以下「措置を講ずべき事項」という。）

III. 特定原子力施設の保安のために措置を講ずべき事項

運転管理，保守管理，放射線管理，放射性廃棄物管理，緊急時の措置，敷地内外の環境放射線モニタリング等適切な措置を講じることにより，「II. 設計，設備について措置を講ずべき事項」の適切かつ確実な実施を確保し，かつ，作業員及び敷地内外の安全を確保すること。

特に，事故や災害時等における緊急時の措置については，緊急事態への対処に加え，関係機関への連絡通報体制や緊急時における医療体制の整備等を行うこと。

また，協力企業を含む社員や作業従事者に対する教育・訓練を的確に行い，その技量や能力の維持向上を図ること。

1.1 措置を講ずべき事項への適合方針

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は，運転管理，保守管理，放射線管理，放射性廃棄物管理，緊急時の措置，敷地内外の環境放射線モニタリング等適切な措置を講じることにより，「II. 設計，設備について措置を講ずべき事項」の適切かつ確実な実施を確保し，かつ，作業員及び敷地内外の安全を確保する。

1.2 対応方針

1.2.1 ALPS 処理水海洋放出の運用体制

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る保安に関する職務のうち、発電所組織の職務は次のとおり。なお、保全のために行う設計、建設・設置及び保守管理については、施設管理計画に基づき実施する。

- (1) ALPS 処理水プログラム部は、1～4号炉に係る安全確保設備等のうち、多核種除去設備等により、トリチウム以外の放射性物質を告示濃度限度比総和1未満まで浄化処理した水（以下、ALPS 処理水という。）の海洋放出に関連する設備のプロジェクトの計画及び管理、運用方法の検討並びにALPS 処理水希釈放出設備の運転計画に関する業務並びにこれらに係る機械設備及び土木設備の設計及び建設・設置に関する業務を行う。また、ALPS 処理水の分析の計画に関する業務を行う。
- (2) 電気技術グループは、電気設備の設計に関する業務（配電・電路GMが所管する業務を除く。）を行う。
- (3) 計装技術グループは、計装設備の設計に関する業務を行う。
- (4) 建築建設技術グループは、新設建築設備に係る設計に関する業務を行う。
- (5) 水処理当直は、1～4号炉に係る安全確保設備等のうち、汚染水処理設備等、滞留水を貯留する建屋、多核種除去設備等、サブドレン他水処理施設（地下水ドレン集水設備を除く。）及びALPS 処理水希釈放出設備の運転管理（運用支援GM、作業管理GM及び水処理計画GMが所管する業務を除く。）に関する業務を行う。
- (6) 運用支援グループは、1～4号炉に係る安全確保設備等、5号炉及び6号炉に係る原子炉施設、その他安全確保設備等のうち、使用済燃料共用プール設備、放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設（雑固体廃棄物焼却設備及び増設雑固体廃棄物焼却設備を除く。）の運転管理のうち、マニュアル・手順書及び設備管理に関する業務を行う。また、1～4号炉に係る安全確保設備等のうち、原子炉圧力容器・格納容器注水設備（ろ過水タンク、純水タンク及び原水地下タンク）、その他安全確保設備等のうち、放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設（雑固体廃棄物焼却設備及び増設雑固体廃棄物焼却設備）、大型機器除染設備並びに減容処理設備の運用に関する業務を行う。

- (7) 貯留設備グループは、1～4号炉に係る安全確保設備等のうち、汚染水処理設備等（貯留設備）の土木設備及び ALPS 処理水希釈放出設備の機械設備の保守管理並びに汚染水処理設備等（貯留設備の付帯設備）及び雨水処理設備等の建設・設置及び保守管理に関する業務を行う。
- (8) 電気設備保守グループは、電気設備の保守管理並びに電源車の運用及び保守管理に関する業務（配電・電路GM及び建築設備保守GMが所管する業務を除く。）を行う。
- (9) 電気設備建設グループは、電気設備の建設・設置に関する業務（配電・電路GMが所管する業務を除く。）を行う。
- (10) 水処理計装設備グループは、1～4号炉に係る安全確保設備等のうち、汚染水処理設備等、滞留水を貯留する建屋、多核種除去設備等、サブドレン他水処理施設、油処理装置、3号機原子炉格納容器内取水設備、ALPS 処理水希釈放出設備、5号炉及び6号炉に係る原子炉施設のうち、5・6号炉仮設設備（滞留水貯留設備）、その他安全確保設備等のうち、放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設、放射性物質分析・研究施設第1棟、大型機器除染設備並びに減容処理設備に係る計装設備の建設・設置及び保守管理に関する業務を行う。
- (11) 土木基盤設備グループは、土木設備の建設・設置及び保守管理に関する業務（土木基盤設備GM以外の各プログラム部長及び各GMが所管する業務を除く。）を行う。
- (12) 建築設備保守グループは、建築設備の保守管理に関する業務（建築設備保守GM以外の各プログラム部長及び各GMが所管する業務を除く。）を行う。また、その他安全確保設備等のうち、大型機器除染設備に係る電気設備の保守管理に関する業務を行う。
- (13) 建築設備建設グループは、建築設備の建設・設置に関する業務（建築設備建設GM以外の各プログラム部長及び各GMが所管する業務を除く。）を行う。
- (14) 放出・環境モニタリンググループは、放射線管理のうち、発電所内外の陸域・海域の環境モニタリング、放射性廃棄物管理のうち、液体廃棄物等の排水管理、1～4号炉等からの気体廃棄物の放出測定管理及び5・6号炉からの放射性気体廃棄物の放出管理に関する業務を行う。

- (15) 分析評価グループは、分析施設の運用、放射能・化学分析機器の管理並びに放射性物質分析・研究施設第1棟の運用及び保守管理、分析・データ評価に関する業務を行う。

1.2.2 ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の選定

(1) 概要

ALPS 処理水中のトリチウム以外の放射性核種については、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、告示濃度限度の比の和が 1 未満を満足すると考えている。

このうえで、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うえで、測定・評価の対象とする放射性核種（以下「測定・評価対象核種」という。）を選定する。

※：ALPS は 62 核種を除去対象として、これら核種の告示濃度限度との比の総和が 1 を下回る処理性能を有しているが、62 核種全ての分析には長時間を要するため、廃炉作業を遅延させずに ALPS の性能確認やタンク群に含まれる核種濃度を把握するために代表的な核種を選定し、それらの測定値をもって評価する必要があった。この時、処理水の 62 核種分析を実施し、告示濃度限度に対して有意に検出された 7 核種（Cs-134,Cs-137,Sr-90,I-129,Co-60,Sb-125,Ru-106）を“主要 7 核種”と呼んでいる。

(2) 測定・評価対象核種の選定方針

福島第一原子力発電所の汚染水に有意に含まれる可能性のある核種の検証を行うにあたり、廃止措置や埋設施設に関する知見を踏まえて、核種分析を実施するとともに、1～3号機の燃料及び構造材を考慮したインベントリ評価を実施する。

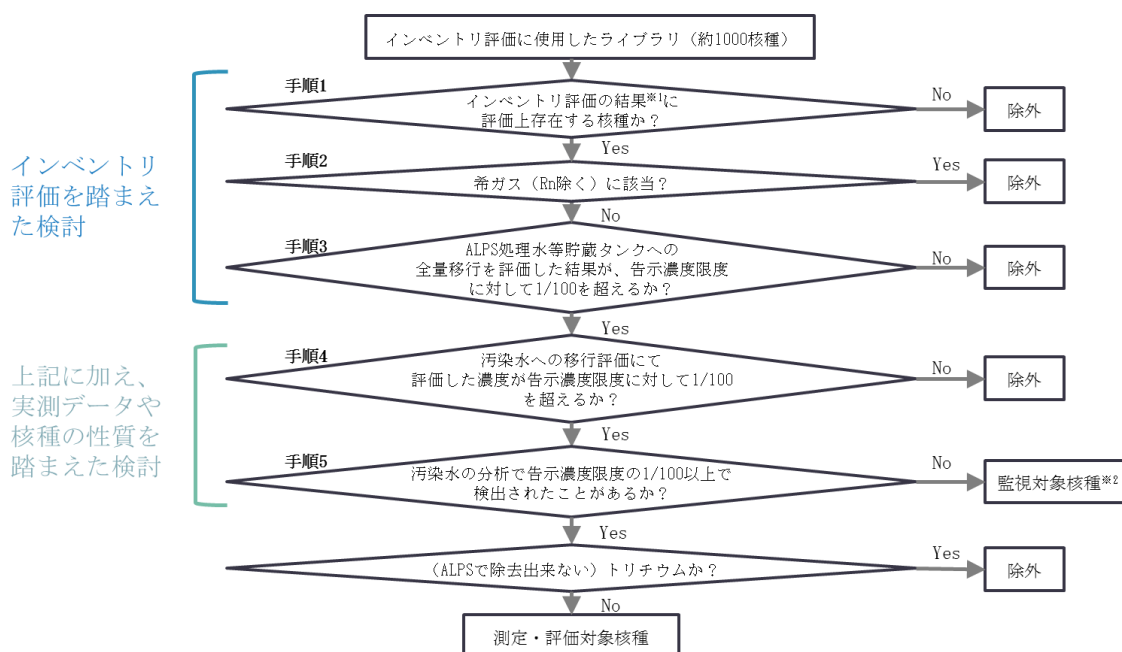
核種分析
廃止措置や埋設施設に関する研究において評価対象としている核種が、汚染水でも有意に存在するか否か、実際に分析して確認する。また、過去の核種分析結果についても確認する。
インベントリ評価
ALPS 除去対象核種検討時と同様に核分裂生成物のインベントリ評価を実施すると共に、廃止措置や埋設施設に関する研究を参考に、原子炉圧力容器内の構造物等の放射化により生成するインベントリ量を評価する。なお、評価に当たっては、震災後から経過する期間を適切に設定したうえで、減衰によるインベントリ量の減少を考慮する。 上記評価結果から、水への移行しやすさ等を考慮したうえで、汚染水中に有意に含まれる可能性のある核種の存在を確認する。

核種分析及びインベントリ評価の結果から、線量評価への影響を踏まえて、測定・評価対象核種を選定する。

(3) ALPS 処理水の測定・評価対象核種の選定

a. ALPS 処理水の測定・評価対象核種の選定の考え方

(2)項の核種分析及びインベントリ評価の結果から、図 1.1-1 に示すフローに従い、測定・評価対象核種を選定する。



※1：インベントリ評価の減衰期間は、選定結果を使用する時期に応じて適切に設定
(初回は 2023 年 (事故後 12 年) に設定)

※2：汚染水中に有意に存在しないか継続して確認する核種

図 1.1-1 ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種選定フロー

b. 放出基準の確認

ALPS 処理水の海洋放出にあたって、図 1.1-1 のフローに基づき選定した測定・評価対象核種にて放出基準 (トリチウムを除く放射性核種の告示濃度限度比の和が 1 未満) を満足しているか確認する。

c. 測定・評価対象核種の定期的な確認

図 1.1-1 のフローに基づき選定した測定・評価対象核種は、過去の分析結果を確認したうえで選定しているが、今後の廃炉作業の進捗によって、その状況に変化が生じる可能性が考えられる。このため、選定した測定・評価対象核種以外の核種（以下「その他核種」という。）が有意に存在しないことを、以下の方法により確認する。この確認の中で、その他核種が有意に（告示濃度限度の 1/100 以上で）存在することが確認された場合は、測定・評価対象核種の再評価を行う。なお、放射性核種の減衰についても、選定フローの中で反映する。

(a) 放出の都度の確認

ALPS 処理水の放出基準を確認する際、全 α 、全 β 、Ge 半導体検出器による測定で、その他核種が有意に存在しないことを確認する。

(b) 汚染水中のトレンド確認

集中 R_w 以降で定期的に確認している汚染水の放射性核種の濃度が、過去に確認された濃度以下であることを確認し、放射性核種の汚染水への移行状況に変化が生じていないことを確認する。

(c) 調査分析

調査分析では、(a)、(b)項で懸念が有る事象が発生した場合に、その他核種を特定するための調査を行う。懸念が無い場合であっても、ALPS 処理前の汚染水において、監視対象核種が有意な濃度で存在しないことの確認を 1 年に 1 回の頻度で行い、その他核種の存在を調査する。

ALPS 処理水海洋放出の運用体制変更に関する補足説明

1. 概要

ALPS 処理水プログラム部の設置に関する実施計画の変更申請の際に、ALPS 処理水放出の運転・保守等の運用体制については、放出開始前までに改めて申請する計画としていたが、今回、同体制が具体化したことから、変更内容について説明する。前回と今回の実施計画での申請範囲は図 1.1.1-1 の通り。

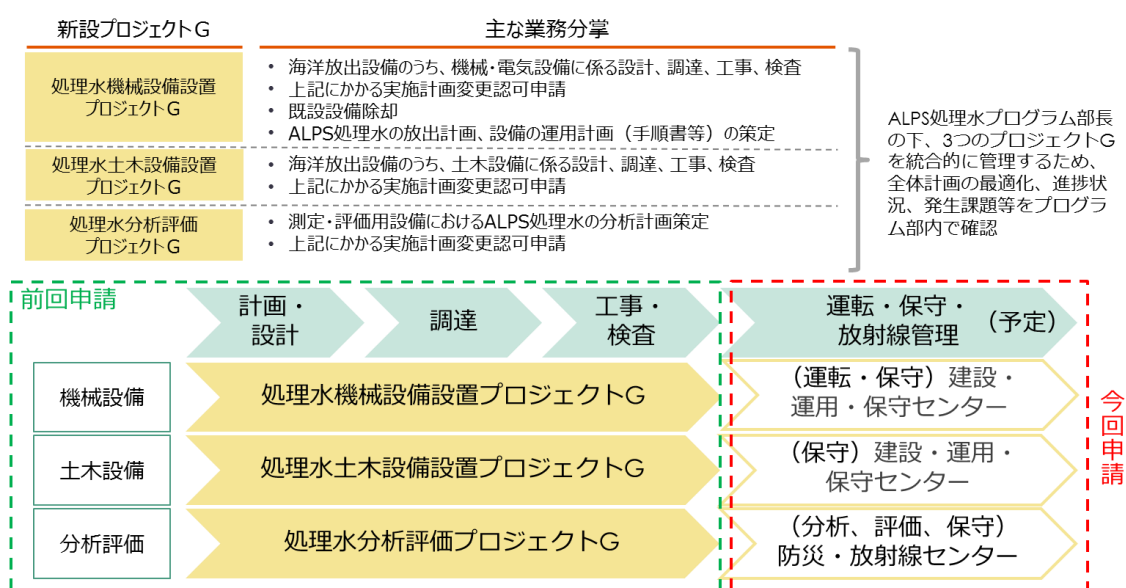


図 1.1.1-1 ALPS 処理水海洋放出に関する業務所掌

2. ALPS 処理水海洋放出に関する運用体制

ALPS 処理水海洋放出に関する運用体制を、福島第一廃炉推進カンパニーの体制図で示すと図 1.1.1-2 の通り。本項では、各グループが実施する業務について説明する。

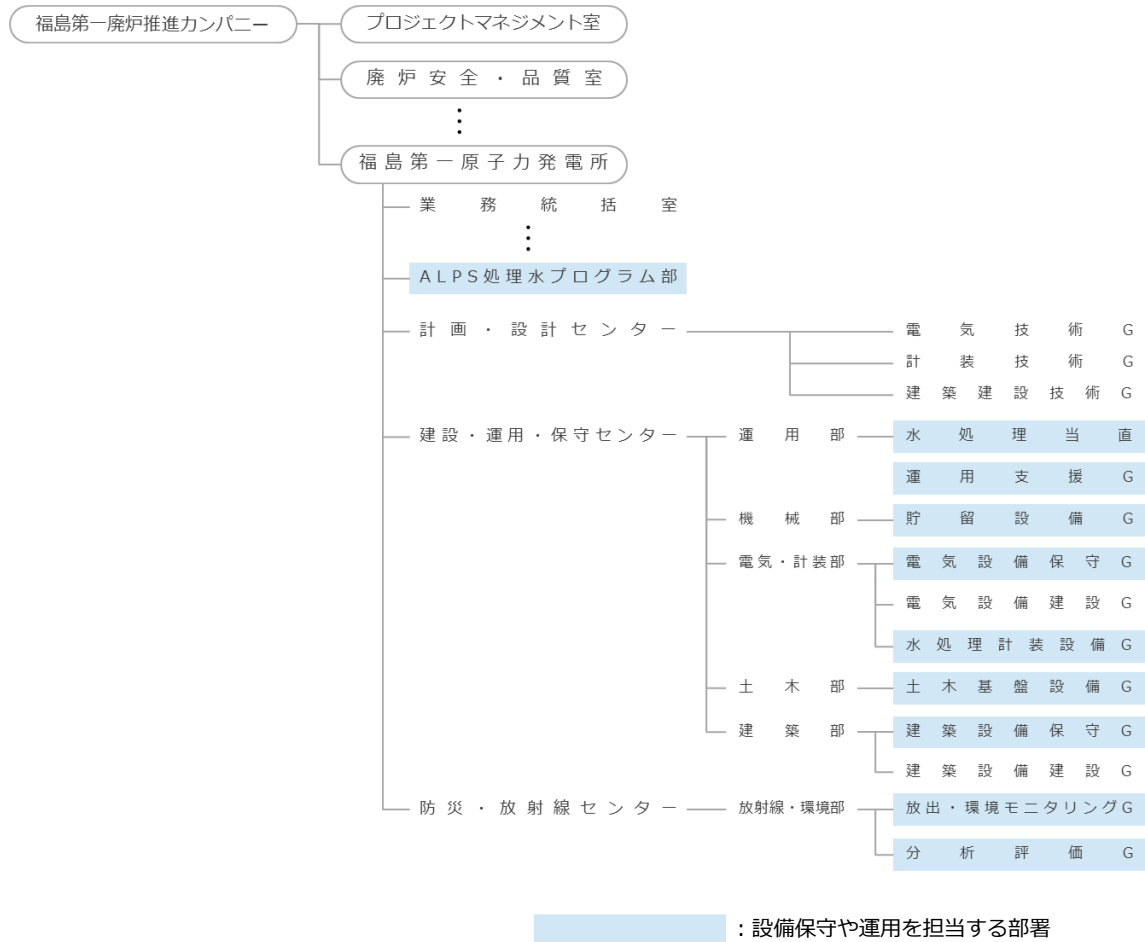


図 1.1.1-2 福島第一廃炉推進カンパニーにおける ALPS 処理水海洋放出に関する体制図

2.1 設備の設計，建設・設置，保守管理体制

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設計，建設・設置は，ALPS 処理水プログラム部がプロジェクトの管理（工程管理，予算管理，リスク管理）を行いつつ，各々の業務のうち，機械設備と土木設備は ALPS 処理水プログラム部で実施し，その他の電気設備，計装設備及び建築設備は計画・設計センター及び建設・運用・保守センターに委託する形で取り組んでいた。

運用開始後の，設備の保守管理については，表 1.1.1-1 の通り，建設・運用・保守センターにて対応する。また，各設備の具体的な保守管理対象を表 1.1.1-2 に示す。

表 1.1.1-1 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設計，建設・設置，保守管理の業務所掌

設備	前回申請		今回申請
	設計	建設・設置	保守管理
機械設備	ALPS 処理水プログラム部		貯留設備 G
土木設備	ALPS 処理水プログラム部		土木基盤設備 G
電気設備	電気技術 G	電気設備建設 G	電気設備保守 G
計装設備	計装技術 G	水処理計装設備 G	水処理計装設備 G
建築設備	建築建設技術 G	建築設備建設 G	建築設備保守 G

計画・設計センター
建設・運用・保守センター

※：今回の実施計画変更申請にての記載を変更した箇所を朱書きで記載

表 1.1.1-2 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の主な保守管理対象

設備	機械設備	土木設備	電気設備
主な保守管理対象	<ul style="list-style-type: none"> ・循環ポンプ（電動機除く） ・攪拌機器 ・測定・確認用タンク ・ALPS 処理水移送ポンプ（電動機除く） ・緊急遮断弁-1, 2 ・ALPS 処理水流量調整弁 ・海水移送ポンプ（電動機除く） ・主配管（海水配管ヘッダ含む） 	<ul style="list-style-type: none"> ・放水立坑（上流水槽／下流水槽） ・放水トンネル ・放水口 	<ul style="list-style-type: none"> ・電源盤 ・循環ポンプ（電動機） ・ALPS 処理水移送ポンプ（電動機） ・海水移送ポンプ（電動機）
設備	計装設備	建築設備	
主な保守管理対象	<ul style="list-style-type: none"> ・監視・制御装置 ・ALPS 処理水流量計 ・放射線モニタ ・海水流量計 	<ul style="list-style-type: none"> ・5,6 号機東側電気品建屋 	

2.2 設備の運転管理体制

ALPS 処理水希釈放出設備の運転管理については、現在、ALPS 処理水プログラム部で運用方法の検討を行っているが、運用開始後は表 1.1.1-3 の通り、運転管理は建設・運用・保守センターにて対応し、運転計画については ALPS 処理水プログラム部にて対応する。

なお、海洋放出初期の少量での放出は、通常の運転とは異なることから、同放出の管理部署である ALPS 処理水プログラム部から水処理当直へ運転管理を委託する形で業務を実施するものの、それ以降は下表の業務所掌に従い、業務を実施する。

表 1.1.1-3 ALPS 処理水希釈放出設備の運転管理の業務所掌

業務	前回申請	今回申請
	設計段階	運用開始後
運用方法の検討 ALPS 処理水の海洋放出の方法に関する検討 (希釈放出前の放出基準の確認や H-3 濃度の 1500Bq/L 未満とすること等)	ALPS 処理水プログラム部	
運転計画 ALPS 処理水の放出計画の策定及び計画実行のための設備の運用計画の策定	—	ALPS 処理水プログラム部
運転管理 ALPS 処理水希釈放出設備の運転操作及び設備状態管理等に関する業務	—	水処理当直
運転管理のうち、マニュアル・手順書に関する業務 ALPS 処理水希釈放出設備の運転管理のうち、マニュアル・手順書の制定・改定に関する業務	—	運用支援 G

建設・運用・保守センター

※：今回の実施計画変更申請にての記載を変更した箇所を朱書きで記載

2.3 ALPS 処理水の海洋放出に係る分析に関する業務

ALPS 処理水の海洋放出に係る分析に関する業務については、現在、ALPS 処理水プログラム部で分析の計画を行っており、運用開始後の分析・データ評価、液体廃棄物等の排水管理は、他の分析に関する業務と同様に、表 1.1.1-4 の通り、防災・放射線センターにて対応する。

表 1.1.1-4 ALPS 処理水の分析に関する業務所掌

業務	前回申請	今回申請
	計画段階	運用開始後 ^{※1}
分析の計画	ALPS 処理水プログラム部	
分析・データ評価	—	分析評価 G
液体廃棄物等の排水管理	—	放出・環境モニタリング G

防災・放射線センター

ここで、ALPS 処理水の分析に関する具体的業務の流れは図 1.1.1-3 の通り、分析から放出までの業務は全て化学管理システム内で実施する計画である。その中で、ALPS 処理水の分析・データ評価に係る業務は分析評価 G にて行い、化学管理システムにて分析結果の通知を受けた、放出・環境モニタリング G が、放出可否を判断する。なお、放出基準を満足していた場合は、放出・環境モニタリング G から水処理当直へ排水分析結果を通知し、放出の設備操作が実施される。

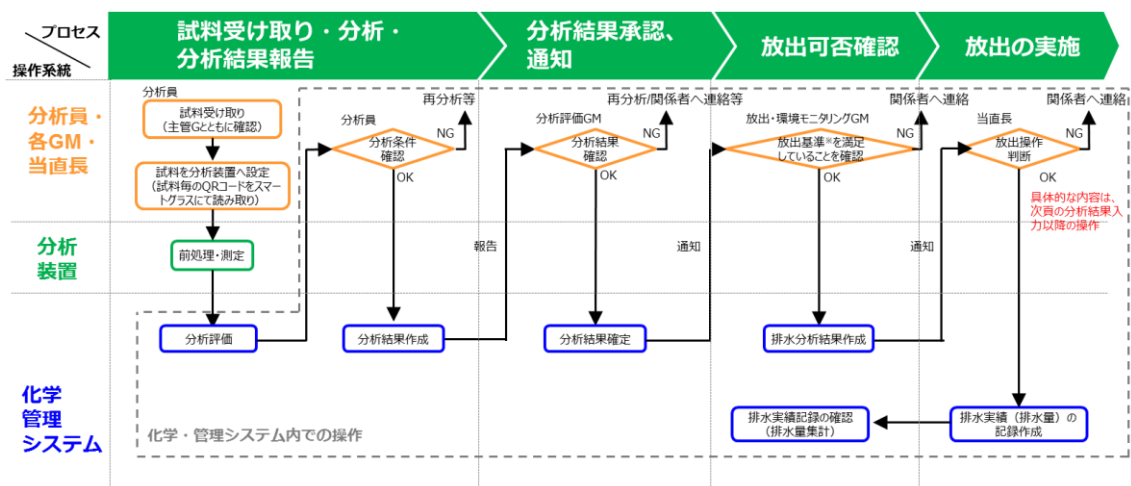


図 1.1.1-3 分析工程

以上

水処理当直における要員の確保に関する補足説明

1. 概要

現在、水処理当直は8名/班の5班体制、2交代にて運用している。

ALPS 処理水の海洋放出に伴う増加業務を表 1.1.1-5 の通り想定しており、運転管理業務の移管に当たって計 10 名/班（+2 名/班）の体制とする。

表 1.1.1-5 ALPS 処理水海洋放出設備の運転管理に関する増加業務

主な増加業務		増員数
設備状態管理	パラメータ監視，データ採取， 現場パトロール	+2 名/班
警報発生時対応	警報発生時の現場状況確認	
PTW の操作	現場弁の隔離等の操作	
移送ポンプ，海水移送ポンプ 起動・停止操作	起動・停止時 現場確認 現場ラインナップ	

2. 水処理当直の体制変更案

2022 年 11 月現在の水処理当直の体制は、図 1.1.1-4 に記載の通り。滞留水移送装置やセシウム吸着装置（SARRY/SARRY II/KURION）、淡水化装置（既設 RO，建屋内 RO）、多核種除去設備（ALPS）3 設備の他、サブドレン、地下水バイパス、ALPS 処理水等貯留タンク、陸側遮水壁等の運転管理を行っている。ALPS 処理水海洋放出設備の運転管理についても、水処理設備の一元管理の観点から、水処理当直で行うこととし、ALPS 処理水海洋放出設備の追加以降も確実な運転管理ができるよう当直員 2 名/班の増員を図る予定である。

水処理当直の定員は二次マニュアル「QI-51-1 運転員の確保マニュアル」で 1 班あたりの定員を 8 名として定めており、定員の変更（10 名/班）に当たっては、上記二次マニュアル「QI-51-1 運転員の確保マニュアル」の改訂を行う。

体制整備に当たっては、運用部に配属した要員に対して運転員の力量を確保させるための研修を進めており、十分な力量を確保した上で運転員としての定員化を図るなど、計画的に要員確保を進めている。

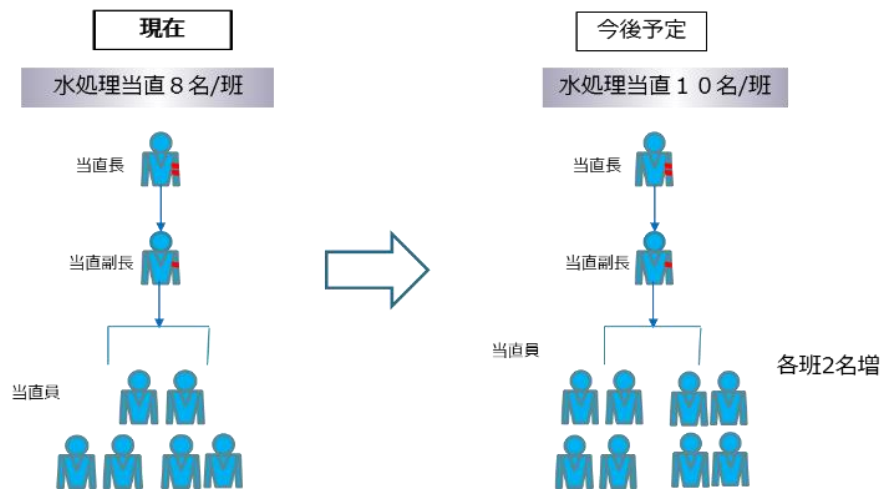


図 1.1.1-4 水処理当直の体制

ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の検討のうち
核種分析に係る補足説明

1. 概要

ALPS 処理水中の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方針としている。

検討の進め方は、第 9 回 ALPS 処理水審査会合で説明したフロー（図 1.1.2-1 参照）の通り、核種分析及びインベントリ評価にて行う計画としており、本資料では核種分析について補足説明を行う。

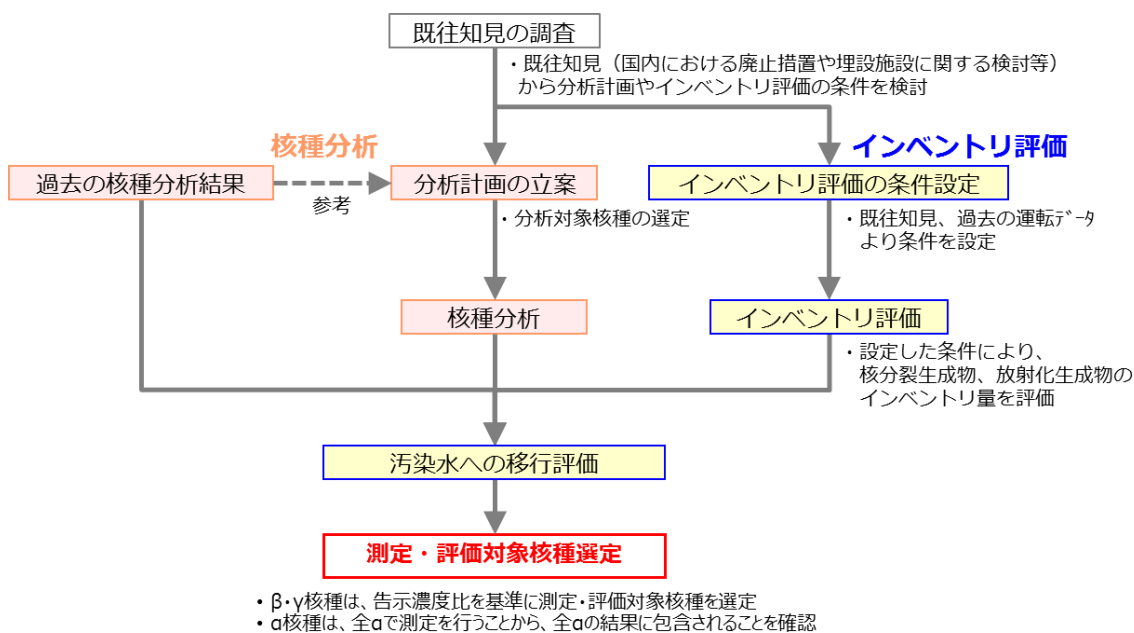


図 1.1.2-1 測定・評価対象核種選定の検討の全体の進め方

【第 9 回 ALPS 処理水審査会合資料より（一部表現修正）】

2. 核種分析

2.1 過去の分析実績の調査

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の補足説明資料（2022 年7 月）より】

これまでに国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」という。）及び当社で、表 1.1.2-1 に示す通り、ALPS 除去対象核種（62 核種）、トリチウム、C-14 以外に 20 核種を分析している。

測定・評価対象核種選定の検討に当たり、核種分析計画を策定しているが、当該計画策定に当たっては、過去の分析結果を考慮すると共に、既往知見を参考に、核種分析を実施する核種（以下「分析対象核種」という。）を選定した。

表 1.1.2-1 過去に分析実績がある核種一覧

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	
上記以外の核種（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 分析計画策定において参考にした既往知見

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の補足説明資料（2022 年 7 月）より】

核種分析の計画を策定するため、下記の既往知見において着目している核種より、以下基準により分析対象核種を抽出した。

- ・過去に分析が未実施な核種もしくは、分析実績が十分でない核種
- ・ALPS 除去対象核種選定時に検討されていない核種
- ・ β ・ γ 核種等は、既往知見における放射化生成物の炉水の濃度中に、滞留水に含まれる Co-60 の濃度と比較して、1/100 以上存在する核種
- ・ α 核種は、崩壊系列で濃度が評価できる核種を除いた核種

なお、上記条件が当てはまっても、半減期が 1 年未満で、放出までの 12 年で減衰により約 1/1000 以下に減衰する核種は除外している他、逆に上記条件に当てはまらなくても、社外分析機関で分析可能な場合は計画に含めている場合がある。

【既往知見】

- ① 電力共同研究『BWR 型原子炉の廃止措置に関する研究（その 2）』（平成 8 年度）
- ② 東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請『主要な放射性核種の選定について』（平成 30 年 2 月 日本原子力発電株式会社）
- ③ JAEA が 1F 放射性廃棄物性状把握のため、分析対象核種を検討した際の研究資料
 - ・『低レベル放射性廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について』においてトレンチ処分、ピット処分、余裕深度処分を対象に原子炉廃棄物とサイクル廃棄物のいずれかに含まれる核種のうち相対重要度 D/C が最大となる核種に対して上位 3 桁までの核種
 - ・『TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ』において重要核種に選定されているもの
 - ・『わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－総論レポート』において重要核種に選定されているもの
 - ・『日本原燃六ヶ所低レベル放射性廃棄物貯蔵センター（浅地中ピット処分）及び JPDR（浅地中トレンチ処分）の埋設事業許可申請書』

2.3 既往知見から抽出した分析対象核種（ β ・ γ 核種等）

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の
補足説明資料（2022年7月）より（測定方法を修正）】

2.2 項の既往知見より、 β ・ γ 核種等の分析対象核種を表 1.1.2-2 の通り抽出した。

なお、ここで抽出された核種は、現時点で当社での測定が困難な核種であるため、外部機関を利用した測定を計画した。

また、表 1.1.2-2 に抽出した核種については、福島第一原子力発電所において代表的な核種である Cs-137 (Ba-137m) :0.662MeV (γ 線), Sr-90 (Y-90) :2.28MeV (β 線) と比べると、主にエネルギーが小さい核種が抽出されていることがわかる。

表 1.1.2-2 既往知見から抽出した分析対象核種（ β ・ γ 核種等）

候補核種	既往知見※1	壊変形式	エネルギー [MeV]	告示濃度 限度 [Bq/cm ³]	測定方法	備考
Cl-36	①②③	β -	0.709550	9.0E-01	前処理（分離、沈殿）後、低バックグラウンド β 線スペクトロメータ	外部機関にて分析実績有
Se-79	①③	β -	0.150630	2.0E-01	前処理（分離、沈殿、再溶解）後、液体シンチレーションカウンタ	外部機関にて分析実績有
Zr-93	①②③	β -	0.090800	1.0E+00	前処理（分離）後、誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS）	—
Pd-107	③	β -	0.034000	2.0E+01	—	—
Ca-41	①②③	EC	0.003310	4.0E+00	前処理（分離、沈殿、再溶解）後、Si (Li) 検出器	外部機関にて分析実績有
Fe-55	①②	EC	0.005900	2.0E+00	前処理（分離）後、低エネルギー光子測定装置（LEPS）	—
Ni-59	①②③	EC	0.006930	1.0E+01		—
Nb-93m	②	IT	0.016615	7.0E+00		—
Mo-93	①②③	EC	0.016615	3.0E-01		—
Sn-121m	③※2	β - IT	0.359800 0.026359	2.0E+00		—
Ba-133	①②	EC	0.356013	5.0E-01	ゲルマニウム半導体検出器 (Ge)	—

※1：2.2 項「既往知見」の番号参照

※2：研究資料より、被覆管等のジルカロイから Sn の同位体の中で最も生成されるため抽出

2.4 既往知見から抽出した分析対象核種（ α 核種）

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の
補足説明資料（2022年7月）より（備考を修正）】

2.2の既往知見より、 α 核種の分析対象核種を表 1.1.2-3 の通り抽出した。

なお、ここで抽出された核種は、現時点で当社での測定が困難な核種であるため、外部機関を利用した測定を計画した。

下記核種を分析することで、建屋滞留水中に有意に含まれる可能性のある α 核種を確認した。

表 1.1.2-3 既往知見から抽出した分析対象核種（ α 核種）

候補核種	既往知見 ^{※1}	壊変形式	エネルギー [MeV]	告示濃度限度 [Bq/cm ³]	半減期 [y]	測定方法	備考
U-233	③	α	4.824200	2.0E-02	1.6E+05	前処理（分離）後、誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS）	外部機関にて分析実績有
U-234	①③	α	4.774600	2.0E-02	2.5E+05		外部機関にて分析実績有
U-235	①③	α	4.395400	2.0E-02	7.0E+08		外部機関にて分析実績有
U-236	①③	α	4.494000	2.0E-02	2.3E+07		外部機関にて分析実績有
U-238	①③	α	4.198000	2.0E-02	4.5E+09		外部機関にて分析実績有
Np-237	①③	α	4.788000	9.0E-03	2.1E+06		外部機関にて分析実績有
Pu-238	①②③	α	5.499030	4.0E-03	8.8E+01	前処理（分離）後、 α スペクトロメータ	Pu-238～Pu-241はALPS除去対象核種。Pu-241は同位体により濃度を推定。
Pu-239	①②③	α	5.156590	4.0E-03	2.4E+04		
Pu-240	①②③	α	5.168170	4.0E-03	6.6E+03		
Pu-241	①②③	β^-	0.020780	2.0E-01	1.4E+01	—	
Pu-242	①③	α	4.902300	4.0E-03	3.8E+05	前処理（分離）後、 α スペクトロメータ	外部機関にて分析実績有
Am-241	①②③	α	5.485560	5.0E-03	4.3E+02	—	Am-241～Am-243はALPS除去対象核種。Am-242mは同位体により濃度を推定。
Am-242m	①③	IT	0.018856	5.0E-03	1.4E+02		
Am-243	①③	α	5.275300	5.0E-03	7.4E+03	前処理（分離）後、 α スペクトロメータ	Cm-242～Cm-234はALPS除去対象核種。Cm-243とCm-244、Cm-245とCm-246はエネルギーが近いため合算値で測定。Cm-245、Cm-246は外部機関にて分析実績有。
Cm-242	③	α	6.112720	6.0E-02	4.5E-01		
Cm-243	③	α	5.785200	6.0E-03	2.9E+01		
Cm-244	①③	α	5.804770	7.0E-03	1.8E+01		
Cm-245	③	α	5.361100	5.0E-03	8.4E+03		
Cm-246	③	α	5.386500	5.0E-03	4.7E+03		

※1：2.2項「既往知見」の番号参照

2.5 分析対象核種の分析結果

2.3～2.4 項で抽出した分析対象核種について、建屋滞留水、ストロンチウム処理水及びALPS 処理水に有意に存在するか確認を行った。

その結果、一部の核種は建屋滞留水やALPS 処理前で検出されたものの、ALPS 処理水については、既往知見で着目されている核種（ α 核種を含む）が告示濃度限度の1/100 以下で検出下限値未満である※ことを確認した。

※：ウランは環境中に含まれる天然ウランを検出

(1) ALPS 処理水等の分析結果（ β ・ γ 核種等）

ALPS 処理水等の β ・ γ 核種等に関する分析結果は表 1.1.2-4 の通り。

建屋滞留水とALPS 処理前のストロンチウム処理水では、目視により懸濁物、浮遊物の存在が確認されたため、 $0.45\mu\text{m}$ のフィルタでろ過を実施した後、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した。そのため、一部の分析結果は、ろ液と残渣の分析結果を分けて報告する。試料の分析結果の考え方として、両方で検出値がある場合は、ろ液と残渣の結果の合計値を試料全体の分析値とするが、どちらか片方のみ検出された場合は検出値のみを、いずれも不検出の場合は、不検出の値のうち、高い値を試料全体の分析値とする。これは、試料全体の分析値について、確からしい値を提示する際にこれまで実施されてきた考え方を参考にしている。なお、一部のALPS 処理水においても、ろ過を実施しているものの、ろ過後のフィルタの γ 線を測定した結果、ALPS 処理前までのフィルタで検出されていたCs-134, Cs-137, Co-60 が検出されていないことから、ALPS 処理の過程で不溶解性の放射性核種のほとんどが除去されており、ろ過による影響がないことを確認している。

各試料中の β ・ γ 核種等を分析した結果、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、建屋滞留水ではFe-55, Ni-59, Se-79, Pd-107 について、それぞれ告示濃度限度の約1/100, 1/1000, 1/20, 1/80000 で検出されており、ALPS 処理前ではNi-59, Se-79, Pd-107 について、それぞれ告示濃度限度の約1/5000, 1/20, 1/80000 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。

表 1.1.2-4 分析対象核種の核種分析結果（ β ・ γ 核種等）(1/3)

核種	告示濃度限度[Bq/L]	試料の種類	採取箇所	採取日	採取方法 ^{※1}	基準日	分析値[Bq/L]	社外分析機関	測定機器		
Fe-55	2.00E+03	—	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/3/7	< 2.7E+00	NFD ^{※2}	低エネルギー 光子測定装置		
		—	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/4/14	< 2.3E+00				
		—	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/17	< 3.0E+00				
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/6/23	< 1.5E+01				
		残渣				2022/9/15	< 4.3E+00				
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/7/22	< 4.1E+00				
		残渣			2022/9/5	1.7E+01					
Ni-59	1.00E+04	—	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/3/9	< 2.3E+00			NFD ^{※2}	低エネルギー 光子測定装置
		—	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/4/19	< 6.6E+00				
		—	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/23	< 2.3E+00				
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/6/27	2.2E+00				
		残渣				2022/9/26	< 1.0E+00				
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/7/26	9.4E+00				
		残渣			2022/9/8	3.5E+00					
Nb-93m	7.00E+03	—	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/3/8	< 8.6E+00	NFD ^{※2}	低エネルギー 光子測定装置		
		—	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/5/10	< 1.5E+01				
		—	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/18	< 7.8E+00				
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/6/13	< 5.6E+01				
		残渣				2022/9/20	< 5.2E+00				
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/7/21	< 5.2E+01				
		残渣			2022/9/6	< 4.4E+00					

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

※2：日本核燃料開発株式会社

表 1.1.2-4 分析対象核種の核種分析結果（ β ・ γ 核種等）(2/3)

核種	告示濃度限度[Bq/L]	試料の種類	採取箇所	採取日	採取方法 ^{※1}	基準日	分析値[Bq/L]	社外分析機関	測定機器
Mo-93	3.00E+02	—	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/3/10	< 1.1E+00	NFD ^{※2}	低エネルギー 光子測定装置
		—	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/4/18	< 2.0E+00		
		—	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/19	< 1.0E+00		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/6/14	< 1.7E+00		
		残渣				2022/9/21	< 6.4E-01		
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/7/25	< 1.2E+00		
		残渣			2022/9/7	< 1.4E+00			
Sn-121m	2.00E+03	—	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/3/22	< 1.7E+00	NFD ^{※2}	低エネルギー 光子測定装置
		—	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/4/8	< 5.3E+00		
		—	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/20	< 2.0E+00		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/6/16	< 1.2E+01		
		残渣				2022/9/22	< 2.9E+00		
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/7/28	< 9.2E+00		
		残渣			2022/9/2	< 1.1E+00			
Cl-36	9.00E+02	ろ液	K4-A10 タンク	2022/1/26	(1)	2022/5/13	< 4.2E+00	NDC ^{※3}	低バック グラウンド β 線スペクトロ メータ
		ろ液	H4-B7 タンク	2022/1/26		2022/5/30	< 5.5E+00		
		ろ液	増設 ALPS 処理後	2022/2/10		2022/5/13	< 3.9E+00		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2022/2/10		2022/5/17	< 3.7E+00		
		ろ液	プロセス主建屋	2022/2/4	(2)-a	2022/5/23	< 4.3E+00		

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

※2：日本核燃料開発株式会社

※3：MHI 原子力研究開発株式会社

表 1.1.2-4 分析対象核種の核種分析結果（ $\beta \cdot \gamma$ 核種等）(3/3)

核種	告示濃度限度[Bq/L]	試料の種類	採取箇所	採取日	採取方法 ^{※1}	基準日	分析値[Bq/L]	社外分析機関	測定機器
Ca-41	4.00E+03	ろ液	K4-A10 タンク	2022/1/26	(1)	2022/6/3	< 7.9E+00	NDC ^{※6}	Si(Li)半導体 検出器
		ろ液	H4-B7 タンク	2022/1/26		2022/6/6	< 7.9E+00		
		ろ液	増設 ALPS 処理後	2022/2/10		2022/6/1	< 7.4E+00		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2022/2/10		2022/6/14	< 1.9E+01		
		ろ液	プロセス主建屋	2022/2/4	(2)-a	2022/6/13	< 1.4E+01		
Zr-93	1.00E+03	ろ液	K4-A10 タンク	2022/1/26	(1)	2022/5/24	< 8.4E-01		誘導結合プラズマ 質量分析装置
		ろ液	H4-B7 タンク	2022/1/26		2022/5/24	< 8.4E-01		
		ろ液	増設 ALPS 処理後	2022/2/10		2022/5/24	< 8.4E-01		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2022/2/10		2022/5/24	< 8.4E-01		
		残渣			2022/6/7	< 1.3E+00			
		ろ液	プロセス主建屋	2022/2/4	(2)-a	2022/5/24	< 8.4E-01		
		残渣				2022/6/7	< 1.3E+00		
Ba-133	5.00E+02	ろ液	K4-A10 タンク	2022/1/26	(1)	2022/4/23	< 7.3E-01	Ge 半導体検出器	
		ろ液	H4-B7 タンク	2022/1/26		2022/4/22	< 7.0E-01		
		ろ液	増設 ALPS 処理後	2022/2/10		2022/4/24	< 7.0E-01		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2022/2/10		2022/4/21	< 4.3E+00		
		ろ液	プロセス主建屋	2022/2/4	(2)-a	2022/6/2	< 2.6E+00		
Se-79	2.00E+02	ろ液	増設 ALPS 処理後	2022/4/22	(1)	※2	< 1.5E+00	JAEA	液体シンチレーシ ョンカウンタ
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2022/4/22		※3	9.0E+00		
		ろ液	プロセス主建屋	2022/4/21	(2)-b	※4	9.7E+00 ^{※5}		
Pd-107	2.00E+04	ろ液	増設 ALPS 処理後	2022/4/22	(1)	2022/10/6	< 7.1E-02		誘導結合プラズマ 質量分析装置
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2022/4/22		2022/10/6	2.4E-01		
		ろ液	プロセス主建屋	2022/4/21	(2)-b	2022/10/6	7.8E-02 ^{※5}		

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す ※2：2022/9/27, 2022/9/27, 2022/10/14 ※3：2022/10/2, 2022/10/2, 2022/10/14 ※4：2022/9/21, 2022/10/8, 2022/10/8

※5：同一試料で3度分析して、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)

※6：MHI 原子力研究開発株式会社

(2) ALPS 処理水等の分析結果 (α 核種)

ALPS 処理水等の α 核種に関する分析結果は表 1.1.2-5 の通り。

建屋滞留水等に有意に含まれる 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 以下で検出下限値未満であったが、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 処理水に含まれる天然ウランと判断している。

なお、本分析においても、建屋滞留水と ALPS 処理前のストロンチウム処理水では、目視により懸濁物、浮遊物の存在が確認されたため、0.45 μm のフィルタでろ過を実施した後、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している。そのため、一部の分析結果は、ろ液と残渣の分析結果を分けて報告する。試料の分析結果の考え方として、両方で検出値がある場合は、ろ液と残渣の結果の合計値を試料全体の分析値とするが、どちらか片方のみ検出された場合は検出値のみを、いずれも不検出の場合は、不検出の値のうち、高い値を試料全体の分析値とする。これは、試料全体の分析値について、確からしい値を提示する際にこれまで実施されてきた考え方を参考にしている。また、β・γ 核種等と同様に、一部の ALPS 処理水においてもろ過を実施しているものの、ろ過後のフィルタの γ 線を測定した結果、ALPS 処理前までのフィルタでは検出されていた Cs-134, Cs-137, Co-60 が検出されていないことから、ALPS 処理の過程で不溶解性の放射性核種のほとんどが除去されており、ろ過による影響がないことを確認している。

※1: $X = \lambda w / A \times N_A$ 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

表 1.1.2-5 分析対象核種の核種分析結果 (α 核種) (1/5)

核種	告示濃度限度[Bq/L]	試料の種類	採取箇所	採取日	採取方法※1	基準日	分析値[Bq/L]	社外分析機関	測定機器
U-233	2.00E+01	—	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/7/14	< 1.4E-02	NFD※2	誘導結合プラズマ 質量分析装置
		—	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/7/14	< 1.3E-02		
		—	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/7/14	< 1.3E-02		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/7/14	< 1.3E-02		
		残渣			2022/9/27	< 2.4E-03			
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/7/14	< 1.3E-02		
		残渣				2022/9/27	< 1.4E-03		
U-234	2.00E+01	—	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/7/14	< 8.7E-03	NFD※2	誘導結合プラズマ 質量分析装置
		—	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/7/14	< 8.7E-03		
		—	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/7/14	< 8.7E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/7/14	< 8.7E-03		
		残渣			2022/9/27	< 1.6E-03			
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/7/14	1.3E-01		
		残渣				2022/9/26	2.8E-02		
U-235	2.00E+01	—	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/7/14	5.0E-05	NFD※2	誘導結合プラズマ 質量分析装置
		—	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/7/14	9.9E-06		
		—	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/7/14	8.8E-06		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/7/14	2.0E-05		
		残渣			2022/9/27	3.9E-06			
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/7/14	3.7E-03		
		残渣				2022/9/26	6.0E-04		

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

※2：日本核燃料開発株式会社

表 1.1.2-5 分析対象核種の核種分析結果 (α 核種) (2/5)

核種	告示濃度限度[Bq/L]	試料の種類	採取箇所	採取日	採取方法 ^{※1}	基準日	分析値[Bq/L]	社外分析機関	測定機器
U-236	2.00E+01	—	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/7/14	< 9.1E-05	NFD ^{※2}	誘導結合プラズマ 質量分析装置
		—	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/7/14	< 9.1E-05		
		—	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/7/14	< 9.0E-05		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/7/14	1.2E-04		
		残渣			2022/9/27	< 1.6E-05			
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/7/14	2.2E-02		
		残渣				2022/9/26	3.8E-03		
U-238	2.00E+01	—	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/7/14	1.2E-03	NFD ^{※2}	誘導結合プラズマ 質量分析装置
		—	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/7/14	2.3E-04		
		—	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/7/14	2.1E-04		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/7/14	2.3E-04		
		残渣			2022/9/26	7.5E-05			
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/7/14	3.1E-02		
		残渣				2022/9/26	5.5E-03		
Np-237	9.00E+00	—	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/7/15	< 1.5E-03	NFD ^{※2}	誘導結合プラズマ 質量分析装置
		—	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/7/15	< 1.5E-03		
		—	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/7/15	< 1.5E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/7/15	1.2E-02		
		残渣			2022/9/26	8.0E-04			
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/7/15	2.1E-01		
		残渣				2022/9/27	8.5E-03		

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

※2：日本核燃料開発株式会社

表 1.1.2-5 分析対象核種の核種分析結果 (α 核種) (3/5)

核種	告示濃度限度	試料の種類	採取箇所	採取日	採取方法※1	基準日	分析値[Bq/L]	社外分析機関	測定機器
Pu-238	4.00E+00	ろ液	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/5/27	< 1.9E-03	NDC※2	表面障壁型 Si 半導体検出器
		ろ液	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/5/30	< 1.9E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/27	< 2.5E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/5/31	2.8E-01		
		残渣			2022/6/30	4.1E-01			
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/6/13	1.2E+00		
		残渣			2022/7/4	2.8E+00			
Pu-239+ Pu240	8.00E+00	ろ液	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/5/27	< 1.9E-03	NDC※2	表面障壁型 Si 半導体検出器
		ろ液	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/5/30	< 1.9E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/27	< 1.9E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/5/31	9.1E-02		
		残渣			2022/6/30	1.4E-01			
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/6/13	3.9E-01		
		残渣			2022/7/4	9.2E-01			
Pu-242	4.00E+00	ろ液	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/5/27	< 1.9E-03	NDC※2	表面障壁型 Si 半導体検出器
		ろ液	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/5/30	< 2.2E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/27	< 1.9E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/5/31	< 4.4E-03		
		残渣			2022/6/30	< 6.1E-03			
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/6/13	< 7.9E-03		
		残渣			2022/7/4	< 1.3E-02			

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

※2：MHI 原子力研究開発株式会社

表 1.1.2-5 分析対象核種の核種分析結果 (α 核種) (4/5)

核種	告示濃度限度[Bq/L]	試料の種類	採取箇所	採取日	採取方法 ^{※1}	基準日	分析値[Bq/L]	社外分析機関	測定機器
Am-241	5.00E+00	ろ液	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/5/27	< 1.8E-03	NDC ^{※2}	表面障壁型 Si 半導体検出器
		ろ液	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/5/30	< 1.8E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/27	< 1.8E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/6/22	6.8E-02		
		残渣		2022/6/30	1.2E-01				
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/6/28	4.0E-02		
		残渣		2022/7/4		5.7E-01			
Am-243	5.00E+00	ろ液	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/5/27	< 1.5E-03	NDC ^{※2}	表面障壁型 Si 半導体検出器
		ろ液	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/5/30	< 1.5E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/27	< 1.5E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/6/22	< 7.7E-03		
		残渣		2022/6/30	< 5.5E-03				
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/6/28	< 5.1E-03		
		残渣		2022/7/4		< 1.7E-02			
Cm-242	6.00E+01	ろ液	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/5/27	< 1.5E-03	NDC ^{※2}	表面障壁型 Si 半導体検出器
		ろ液	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/5/30	< 1.5E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/27	< 1.6E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/6/22	< 1.6E-03		
		残渣		2022/6/30	5.5E-03				
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/6/28	< 1.5E-03		
		残渣		2022/7/4		9.9E-03			

※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

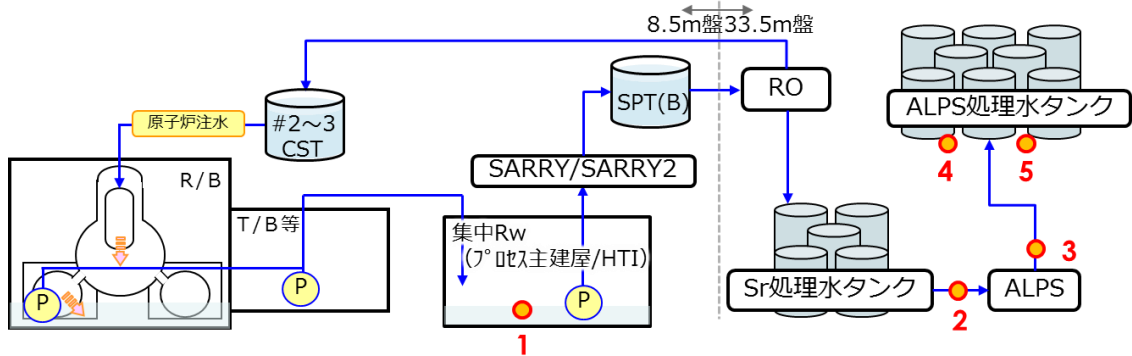
※2：MHI 原子力研究開発株式会社

表 1.1.2-5 分析対象核種の核種分析結果 (α 核種) (5/5)

核種	告示濃度限度	試料の種類	採取箇所	採取日	採取方法 ^{※1}	基準日	分析値[Bq/L]	社外分析機関	測定機器
Cm-243 +Cm-244	1.30E+01	ろ液	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/5/27	< 1.5E-03	NDC ^{※2}	表面障壁型 Si 半導体検出器
		ろ液	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/5/30	< 1.5E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/27	< 1.8E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/6/22	6.4E-02		
		残渣			2022/6/30	9.1E-02			
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/6/28	2.7E-02		
		残渣				2022/7/4	4.4E-01		
Cm-244 +Cm-245	1.00E+01	ろ液	K4-A10 タンク	2021/11/1	(1)	2022/5/27	< 1.5E-03	NDC ^{※2}	表面障壁型 Si 半導体検出器
		ろ液	H4-B7 タンク	2021/11/1		2022/5/30	< 4.7E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理後	2021/10/28		2022/5/27	< 1.5E-03		
		ろ液	増設 ALPS 処理前	2021/10/28		2022/6/22	< 2.1E-02		
		残渣			2022/6/30	< 2.6E-02			
		ろ液	プロセス主建屋	2021/11/2	(2)-a	2022/6/28	< 1.4E-02		
		残渣				2022/7/4	< 6.0E-02		

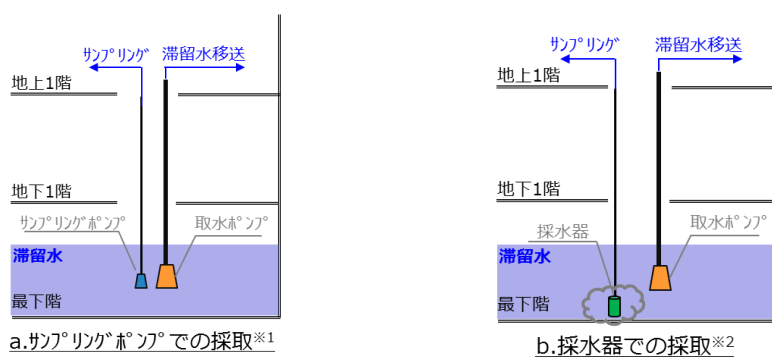
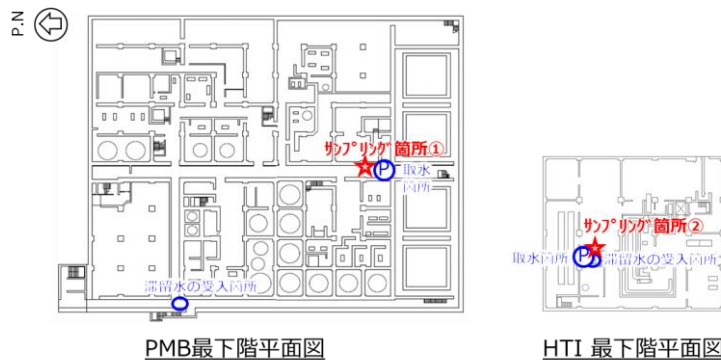
※1：図 1.1.2-2 にて詳細を示す

※2：MHI 原子力研究開発株式会社



No.	採取箇所	採取方法
1	プロセス主建屋	(2)にて示す。
2	ALPS処理前	ALPS入口に設置されたサンプリングラックから採取。
3	ALPS処理後	ALPS出口に設置されたサンプリングラックから採取。
4	H4-B7タンク	タンク上部から採水器にて採取。
5	K4-A10タンク	

(1) 今回核種分析した試料の採取箇所とその方法



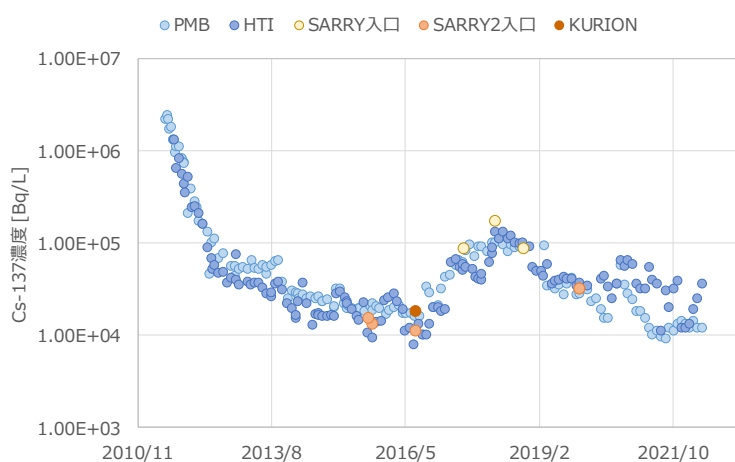
※1：取水ポンプの吸い込み高さを合わせて設置されたサンプリングポンプにより試料を採取

※2：採水時に建屋底部に沈んでいるスラッジを巻き上げて、通常より多くのスラッジを含む試料を採取。

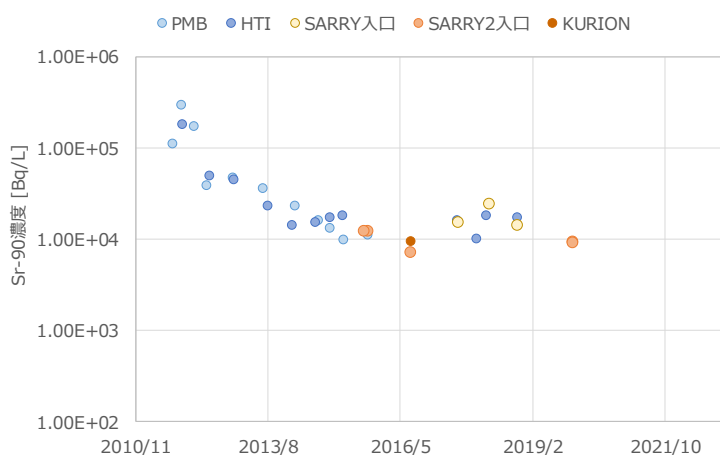
(2) プロセス主建屋/高温焼却炉建屋からの採取方法

図 1.1.2-2 分析対象核種の核種分析における試料採取箇所と方法

今回、追加分析を行った試料については、概ね通常の建屋滞留水や水処理設備の性能確認のための定例サンプリング箇所と同じ箇所から試料を採取しているものの、プロセス主建屋については、図 1.1.2-2 (2) に記載の通り、2種類のサンプリングを実施している。通常の運転において、定例的に実施しているサンプリングは、a で実施したサンプリングポンプによる採水であり、この結果は図 1.1.2-3 の通り、Cs-137 や Sr-90 の分析結果が、取水ポンプ後のセシウム吸着装置の入口の水と同じ濃度を示すことを確認している。一方、b で実施したサンプリングでは、建屋底部に沈んでいるスラッジを含んだ建屋滞留水を採水しているが、クロスフローフィルタで 20nm まで除去可能な ALPS の性能を考慮し、0.45 μm のフィルタで除去し、水に溶解して ALPS 等での処理が必要な核種を分析する計画とした。



a. Cs-137 の分析結果



b. Sr-90 の分析結果

図 1.1.2-3 プロセス主建屋とセシウム吸着装置入口の分析結果の比較

(参考) 追加分析における分析手法の補足

今回の分析でプロセス主建屋の建屋滞留水と ALPS 処理前のストロンチウム処理水は、目視で懸濁物、浮遊物が確認されたため、0.45 μm のフィルタでろ過した上で分析を実施している (図 1.1.2-4 参照)。

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いる手法であり、今回は本手法を採用することで、容易に除去可能な不溶解性の核種と、水に溶解していて ALPS 等での処理が必要な核種を分別して確認することが出来た。



図 1.1.2-4 分析試料 (プロセス主建屋水と ALPS 処理前のストロンチウム処理水) のろ液試料と残渣試料

2.6 核種分析のまとめ

今回、ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種を検討するにあたり、廃止措置や埋施設等で着目されている核種のうち、短半減期の核種を除いて、過去に分析が未実施の核種もしくは分析実績が十分でない核種等について分析した結果、ALPS 処理水では告示濃度限度 1/100 以下で不検出であることを確認した。

この結果から、ALPS 処理水中に有意に存在する可能性がある核種は、主要 7 核種、炭素 14 及びテクネチウム 99 であることを再確認した。

なお、ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種については、上述の 9 核種の他に、建屋滞留水や ALPS 処理前のストロンチウム処理水等において、有意に存在している/存在する可能性がある核種が、海洋放出を行う ALPS 処理水では放出基準を満足するまで除去されていることを確認するという考え方で選定する。

以上

ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の検討のうち
インベントリ評価に係る補足説明

1. 概要

ALPS 処理水中の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方針としている。

検討の進め方は、第 9 回 ALPS 処理水審査会合で説明したフロー（図 1.1.3-1 参照）の通り、核種分析及びインベントリ評価を実施する計画としており、本資料ではインベントリ評価について補足説明を行う。

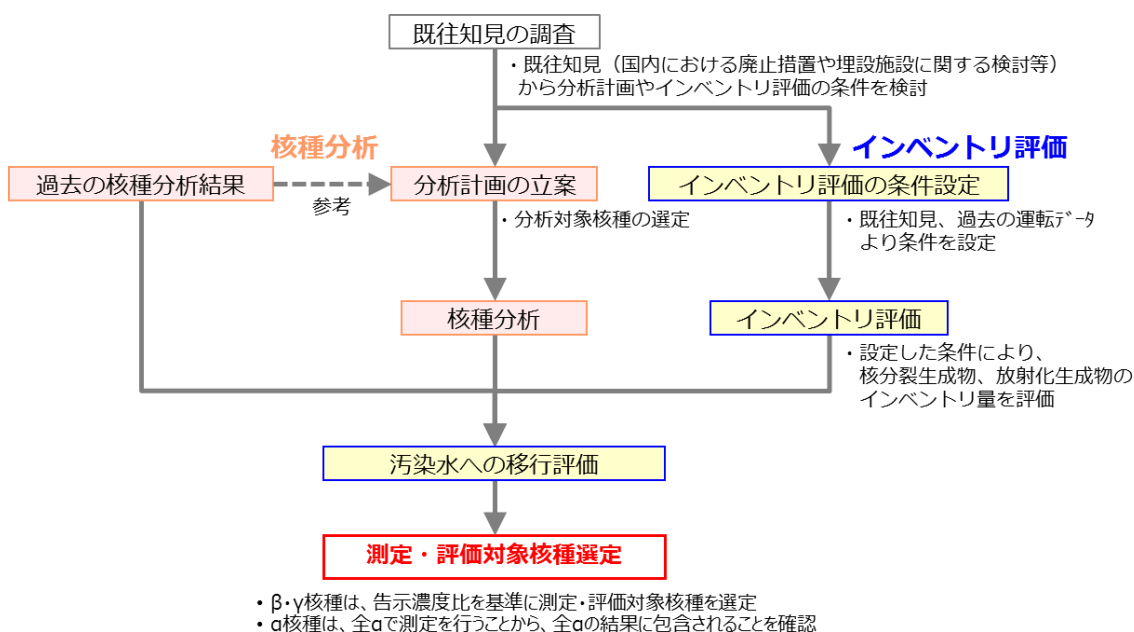


図 1.1.3-1 測定・評価対象核種選定の検討の全体の進め方

【第 9 回 ALPS 処理水審査会合資料より（一部表現修正）】

2. インベントリ評価

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の補足説明資料（2022 年 7 月）より】

インベントリ評価では、これまで原子力発電所の安全評価の中で核燃料物質から生成される核分裂生成物やアクチノイド等の放射性物質（以下、「核分裂生成物」という。）を評価している（ALPS 除去対象核種検討にも使用。）他、廃止措置や埋設施設に関する研究では、原子力発電所内の機器の放射化計算が実施されている。本検討では前述の評価を参考に核分裂生成物評価、放射化生成物評価を実施する。

なお、いずれの評価も震災後から放出までに 12 年経過したことを踏まえた、減衰によるインベントリ量の減少についても評価する。

評価に使用するコードは、これまでの安全評価や、既往知見や過去の評価と同様に ORIGEN（ORNL Isotope Generation and Depletion Code：放射性物質の生成、壊変、減損について計算を行うためのコードシステム）とする。

ORIGEN の評価結果から、水への移行のしやすさ等を考慮した上で、建屋滞留水中に有意に含まれる可能性のある核種の存在を確認する。

2.1 核分裂生成物評価

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の補足説明資料（2022 年 7 月）より】

核分裂生成物評価では、ALPS 除去対象核種検討時と同様に、通常の原子炉発電所の安全評価を参考に、福島第一原子力発電所 1～3 号機の原子炉压力容器内に装荷されていた燃料の条件及び、各燃料の装荷期間から想定される燃焼度等の条件から、2011 年 3 月時点のインベントリ量を評価する。2011 年 3 月以降は、減衰による 12 年間のインベントリ量の減少を計算する。

なお、ORIGEN では、核燃料より生成、壊変、減損されるインベントリ量を評価可能である。核分裂については、ウラン 235 が核分裂する際、主に質量数 95 と質量数 140 付近をピークに 2 つの核種に分裂することを評価する他、ウラン 238 が中性子を吸収して生成するプルトニウムなどの核種や、核分裂生成物が中性子を吸収して生成するセシウム 134 のような核種も発生も評価可能となっている。

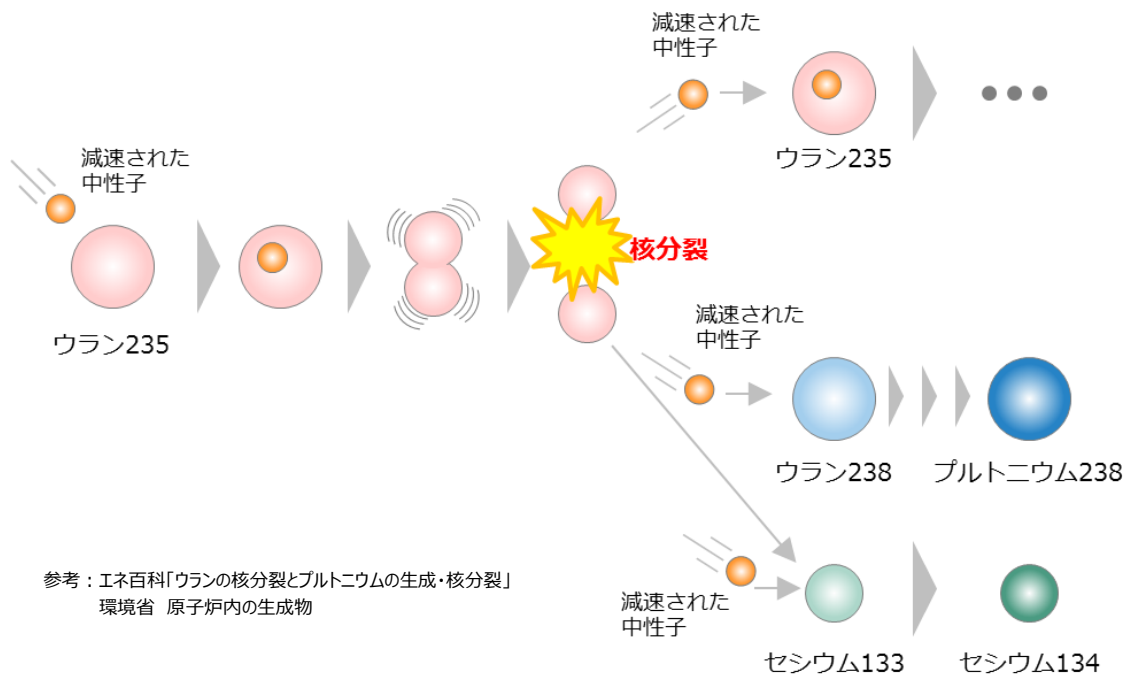
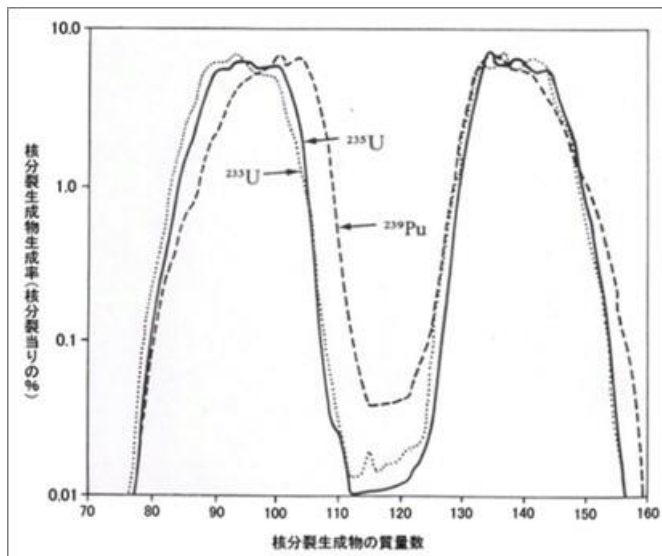


図 1.1.3-2 ウラン 235 によって生成する核分裂生成物とアクチノイド



ATOMICA「核分裂生成物の質量数分布」より
出典：W.マーシャル編：原子炉技術の発展（上），
装華房，P72

図 1.1.3-3 核分裂生成物の質量分布

2.2 放射化生成物評価

【ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に係る実施計画の補足説明資料（2022年7月）より】

放射化生成物評価では、廃止措置や埋設施設に関する研究を参考に、原子炉圧力容器内及びその下部に存在する、炉内構造物、燃料体（核燃料物質除く）、圧力容器、ペDESTALの4種類の機器・構造物について、炉心からの照射期間を踏まえた2011年3月時点のインベントリ量を評価する。他に、原子炉冷却システムを構成している機器等の構成材料の腐食、放射化により生成される腐食生成物についても、運転時の給水金属データ等を使用して、2011年3月時点のインベントリ量を評価する。いずれの評価においても、2011年3月以降は、減衰による12年間のインベントリ量の減少を計算する。

なお、炉内構造物や燃料体においては、全ての機器を評価するのではなく、材料が重複する場合は、保守的に炉心に近い（放射化量が多い。）ものを選定して評価を行う。

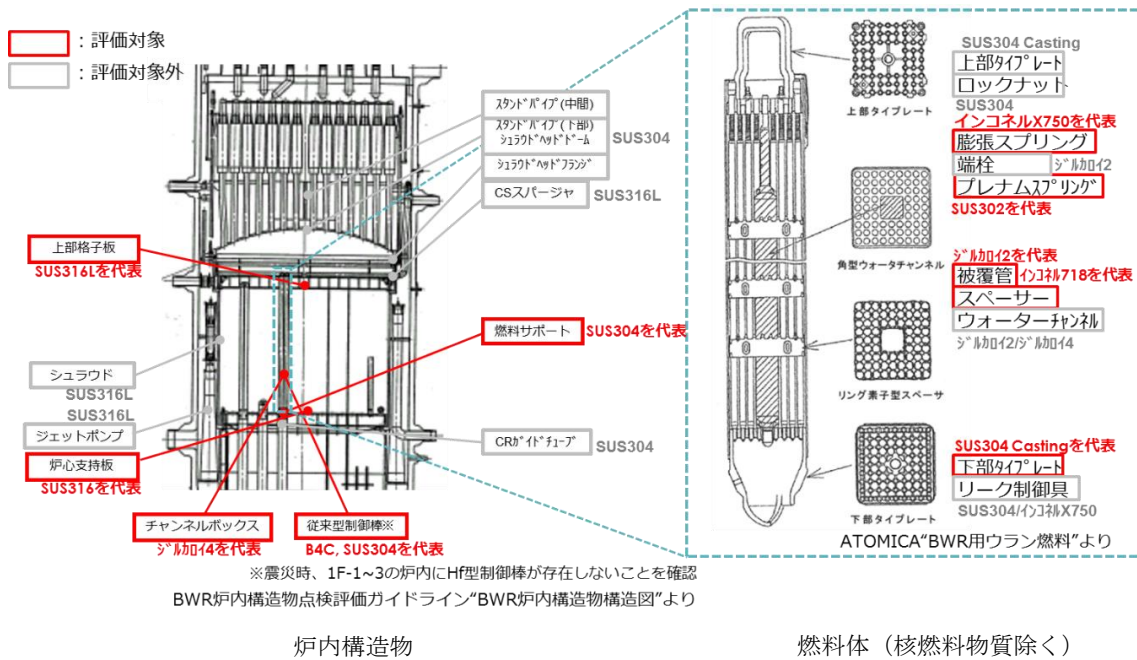


図 1.1.3-4 炉内構造物等のインベントリ評価の対象

2.3 インベントリ評価結果

2.1, 2.2 項の条件を基に、インベントリ評価を実施した結果は表 1.1.3.1~3 の通り。

核分裂生成物評価では燃料から生成されたインベントリ量を 100%考慮する。なお、核分裂生成物のインベントリ評価では通常の原子力発電所の安全評価、ALPS 除去対象核種検討時と同様に燃料から生成されるインベントリ量のみを考慮し、可燃性毒物の存在は考慮していない。

また、放射化生成物評価では、原子炉運転時に炉心に存在し、これまでの調査や事故解析等で溶融していることが想定される、上部格子板、チャンネルボックス、燃料体（全ての部材）、従来型制御棒、燃料サポート、炉心支持板の他、原子炉圧力容器、ペDESTAL から、インベントリ量を算出している。各機器の放射化については、電力共同研究において検討してきた、余裕深度対象（L1）廃棄物や高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）およびハル等廃棄物^{※1}の条件（元素濃度条件、中性子束）及び、運転実績等から評価を行っている。

ORIGEN でインベントリを評価するに当たっては、過去の安全評価や廃止措置の研究と同様に、炉内中性子束の 1 点近似で評価可能な燃料やチャンネルボックス、燃料体、従来型制御棒等については ORIGEN2 により評価し、燃料とは中性子スペクトルが異なる上部格子板、炉心支持板、燃料サポート、原子炉圧力容器やペDESTAL については、SCALE5.1/ORIGEN-S にて評価する。また、それぞれ使用している核データライブラリは、それぞれ JENDL4.0, SCALE5.1 の内蔵データとした。

※1：使用済核燃料をピューレックス法により再処理する際、核燃料をチョッピングにより細断片とするが、その核燃料の被覆廃材のことをハル（hull）という（ATOMICA より）。

表 1.1.3-1 インベントリ評価結果：1号機（1/3）

核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]
H-3	4.8E+14	Nb-94	1.9E+11	Te-123m	1.5E+04
Be-10	8.4E+08	Mo-93	2.4E+11	Te-125m	2.9E+14
C-14	5.4E+12	Tc-97	2.9E+06	Te-127	7.8E+03
Na-22	3.6E+07	Tc-98	9.6E+06	Te-127m	8.0E+03
Si-32	7.1E+05	Tc-99	2.7E+13	I-129	4.9E+10
P-32	7.1E+05	Ru-106	2.1E+14	Cs-134	6.9E+15
Cl-36	5.1E+09	Rh-101	1.1E+05	Cs-135	1.1E+12
Ar-39	1.7E+11	Rh-102	7.1E+06	Cs-137	1.5E+17
Ar-42	4.9E+03	Rh-102m	1.6E+07	Ba-133	5.0E+10
K-40	1.6E+08	Rh-106	2.1E+14	Ba-137m	1.5E+17
K-42	4.9E+03	Pd-107	1.9E+11	La-137	1.4E+07
Ca-41	3.5E+09	Ag-108	3.3E+09	La-138	3.1E+04
Ca-45	4.8E+06	Ag-108m	3.8E+10	Ce-139	5.4E+03
Sc-46	3.7E+01	Ag-109m	8.8E+09	Ce-142	5.3E+07
V-49	2.3E+04	Ag-110	3.5E+08	Ce-144	4.1E+13
Mn-54	4.1E+11	Ag-110m	2.6E+10	Pr-144	4.1E+13
Fe-55	2.6E+15	Cd-109	8.8E+09	Pr-144m	6.2E+11
Co-60	8.1E+15	Cd-113m	2.5E+13	Nd-144	3.3E+03
Ni-59	1.4E+13	In-113m	1.7E+04	Pm-144	2.8E+01
Ni-63	1.6E+15	In-115	4.5E+03	Pm-145	1.8E+10
Zn-65	9.9E+08	Sn-113	1.7E+04	Pm-146	1.0E+12
Se-75	1.0E+03	Sn-119m	1.6E+10	Pm-147	1.5E+16
Se-79	1.1E+11	Sn-121	2.1E+13	Sm-145	3.1E+07
Kr-81	1.1E+10	Sn-121m	2.7E+13	Sm-146	2.3E+05
Kr-85	9.2E+15	Sn-123	1.1E+05	Sm-147	1.3E+07
Rb-87	9.4E+07	Sn-126	4.8E+11	Sm-148	8.2E+01
Sr-90	1.1E+17	Sb-125	7.9E+14	Sm-149	1.5E+00
Y-90	1.1E+17	Sb-126	6.8E+10	Sm-151	5.7E+14
Zr-93	3.9E+12	Sb-126m	4.8E+11	Eu-150	3.9E+07
Nb-91	1.0E+05	Te-121	6.1E+02	Eu-152	2.8E+12
Nb-92	1.7E+06	Te-121m	6.1E+02	Eu-154	3.8E+15
Nb-93m	1.8E+12	Te-123	1.3E+04	Eu-155	1.1E+15

表 1.1.3-1 インベントリ評価結果：1号機(2/3)

核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]
Gd-152	4.3E+00	Pb-212	3.8E+10	Th-228	3.8E+10
Gd-153	3.2E+08	Pb-214	5.2E+06	Th-229	4.6E+05
Tb-157	6.8E+08	Bi-208	6.5E+05	Th-230	6.8E+08
Tb-158	6.9E+08	Bi-210	1.8E+06	Th-231	8.4E+10
Dy-159	1.9E+01	Bi-210m	1.7E+05	Th-232	6.3E+06
Ho-163	1.5E+07	Bi-211	2.2E+07	Th-234	8.0E+11
Ho-166m	6.9E+09	Bi-212	3.8E+10	Pa-231	7.6E+07
Tm-170	5.0E+05	Bi-213	4.6E+05	Pa-233	5.0E+11
Tm-171	1.4E+12	Bi-214	5.2E+06	Pa-234	1.0E+09
Lu-176	5.1E+05	Po-210	1.8E+06	Pa-234m	8.0E+11
Lu-177	4.7E+05	Po-211	6.2E+04	U-232	3.9E+10
Lu-177m	2.0E+06	Po-212	2.4E+10	U-233	1.1E+08
Hf-182	2.1E+06	Po-213	4.6E+05	U-234	3.4E+12
Ta-182	2.2E+06	Po-214	5.2E+06	U-235	8.4E+10
W-181	8.3E+02	Po-215	2.2E+07	U-236	5.6E+11
Re-187	1.4E+06	Po-216	3.8E+10	U-237	3.0E+12
Os-194	1.4E+08	Po-218	5.2E+06	U-238	8.0E+11
Ir-192	5.7E+06	At-217	4.6E+05	U-240	5.7E+05
Ir-192m	5.7E+06	Rn-219	2.2E+07	Np-235	2.2E+06
Ir-194	1.4E+08	Rn-220	3.8E+10	Np-236	7.6E+06
Ir-194m	3.6E+03	Rn-222	5.2E+06	Np-237	5.0E+11
Pt-190	2.2E+03	Fr-221	4.6E+05	Np-238	7.9E+10
Pt-193	2.5E+12	Fr-223	3.1E+05	Np-239	2.7E+13
Tl-204	3.6E+12	Ra-223	2.2E+07	Np-240m	5.7E+05
Tl-206	1.7E+05	Ra-224	3.8E+10	Pu-236	3.3E+10
Tl-207	2.2E+07	Ra-225	4.6E+05	Pu-238	4.4E+15
Tl-208	1.4E+10	Ra-226	5.2E+06	Pu-239	6.7E+14
Tl-209	1.0E+04	Ra-228	6.2E+06	Pu-240	8.7E+14
Pb-205	5.1E+05	Ac-225	4.6E+05	Pu-241	1.2E+17
Pb-209	4.6E+05	Ac-227	2.2E+07	Pu-242	3.2E+12
Pb-210	1.8E+06	Ac-228	6.2E+06	Pu-243	2.2E+05
Pb-211	2.2E+07	Th-227	2.2E+07	Pu-244	5.7E+05

表 1.1.3-1 インベントリ評価結果：1号機(3/3)

核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]
Am-241	3.5E+15	Cm-243	2.3E+13	Bk-249	1.8E+05
Am-242	1.6E+13	Cm-244	2.3E+15	Cf-249	5.4E+06
Am-242m	1.6E+13	Cm-245	4.0E+11	Cf-250	3.0E+07
Am-243	2.7E+13	Cm-246	6.9E+10	Cf-251	3.1E+05
Am-245	2.6E+00	Cm-247	2.2E+05	Cf-252	4.3E+06
Cm-242	1.3E+13	Cm-248	5.9E+05		

表 1.1.3-2 インベントリ評価結果：2号機(1/3)

核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]
H-3	6.1E+14	Nb-93m	2.3E+12	Te-123	1.2E+04
Be-10	1.1E+09	Nb-94	3.6E+11	Te-123m	2.0E+04
C-14	9.8E+12	Mo-93	6.0E+11	Te-125m	3.9E+14
Na-22	5.0E+07	Tc-97	4.1E+06	Te-127	1.2E+04
Si-32	1.5E+06	Tc-98	1.1E+07	Te-127m	1.2E+04
P-32	1.5E+06	Tc-99	3.4E+13	I-129	5.9E+10
Cl-36	1.3E+10	Ru-106	2.8E+14	Cs-134	9.1E+15
Ar-39	2.4E+11	Rh-101	1.5E+05	Cs-135	1.2E+12
Ar-42	1.3E+04	Rh-102	9.7E+06	Cs-137	1.9E+17
K-40	1.5E+08	Rh-102m	2.1E+07	Ba-133	6.0E+10
K-42	1.3E+04	Rh-106	2.8E+14	Ba-137m	1.8E+17
Ca-41	6.8E+09	Pd-107	2.2E+11	La-137	1.7E+07
Ca-45	6.8E+06	Ag-108	5.8E+09	La-138	4.1E+04
Sc-46	5.2E+01	Ag-108m	6.7E+10	Ce-139	7.5E+03
V-49	3.8E+04	Ag-109m	1.3E+10	Ce-142	6.7E+07
Mn-54	5.8E+11	Ag-110	4.5E+08	Ce-144	6.4E+13
Fe-55	4.2E+15	Ag-110m	3.3E+10	Pr-144	6.4E+13
Co-60	1.4E+16	Cd-109	1.3E+10	Pr-144m	9.7E+11
Ni-59	2.9E+13	Cd-113m	2.9E+13	Nd-144	4.1E+03
Ni-63	3.4E+15	In-113m	2.4E+04	Pm-144	3.8E+01
Zn-65	1.5E+09	In-115	4.9E+03	Pm-145	3.0E+10
Se-75	1.5E+03	Sn-113	2.4E+04	Pm-146	1.3E+12
Se-79	1.3E+11	Sn-119m	2.2E+10	Pm-147	2.1E+16
Kr-81	1.7E+10	Sn-121	2.6E+13	Sm-145	4.4E+07
Kr-85	1.2E+16	Sn-121m	3.3E+13	Sm-146	2.5E+05
Rb-87	1.1E+08	Sn-123	1.6E+05	Sm-147	1.7E+07
Sr-90	1.5E+17	Sn-126	5.8E+11	Sm-148	9.4E+01
Y-88	1.1E+00	Sb-125	1.1E+15	Sm-149	2.3E+00
Y-90	1.5E+17	Sb-126	8.1E+10	Sm-151	7.8E+14
Zr-93	4.9E+12	Sb-126m	5.8E+11	Eu-150	4.1E+07
Nb-91	4.1E+05	Te-121	9.3E+02	Eu-152	3.1E+12
Nb-92	3.8E+06	Te-121m	9.3E+02	Eu-154	4.6E+15

表 1.1.3-2 インベントリ評価結果：2号機(2/3)

核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]
Eu-155	1.4E+15	Pb-211	2.5E+07	Th-227	2.5E+07
Gd-152	4.7E+00	Pb-212	4.2E+10	Th-228	4.2E+10
Gd-153	3.8E+08	Pb-214	5.5E+06	Th-229	4.4E+05
Tb-157	9.5E+08	Bi-208	9.1E+05	Th-230	8.7E+08
Tb-158	7.6E+08	Bi-210	1.7E+06	Th-231	1.4E+11
Dy-159	2.5E+01	Bi-210m	2.4E+05	Th-232	5.9E+06
Ho-163	2.2E+07	Bi-211	2.5E+07	Th-234	1.1E+12
Ho-166m	9.5E+09	Bi-212	4.2E+10	Pa-231	9.4E+07
Tm-170	7.0E+05	Bi-213	4.4E+05	Pa-233	6.2E+11
Tm-171	1.9E+12	Bi-214	5.5E+06	Pa-234	1.5E+09
Lu-176	7.2E+05	Po-210	1.7E+06	Pa-234m	1.1E+12
Lu-177	6.5E+05	Po-211	7.1E+04	U-232	4.4E+10
Lu-177m	2.8E+06	Po-212	2.7E+10	U-233	1.5E+08
Hf-182	2.9E+06	Po-213	4.3E+05	U-234	5.1E+12
Ta-182	3.0E+06	Po-214	5.5E+06	U-235	1.4E+11
W-181	1.2E+03	Po-215	2.5E+07	U-236	7.3E+11
Re-187	2.2E+06	Po-216	4.2E+10	U-237	3.6E+12
Os-194	2.0E+08	Po-218	5.5E+06	U-238	1.1E+12
Ir-192	6.9E+06	At-217	4.4E+05	U-240	6.1E+05
Ir-192m	6.9E+06	Rn-219	2.5E+07	Np-235	2.8E+06
Ir-194	2.0E+08	Rn-220	4.2E+10	Np-236	9.4E+06
Ir-194m	4.4E+03	Rn-222	5.5E+06	Np-237	6.2E+11
Pt-190	2.1E+03	Fr-221	4.4E+05	Np-238	7.7E+10
Pt-193	3.6E+12	Fr-223	3.5E+05	Np-239	2.8E+13
Tl-204	5.4E+12	Ra-223	2.5E+07	Np-240m	6.1E+05
Tl-206	2.4E+05	Ra-224	4.2E+10	Pu-236	4.0E+10
Tl-207	2.5E+07	Ra-225	4.4E+05	Pu-238	4.8E+15
Tl-208	1.5E+10	Ra-226	5.5E+06	Pu-239	8.7E+14
Tl-209	9.5E+03	Ra-228	5.8E+06	Pu-240	1.1E+15
Pb-205	1.2E+06	Ac-225	4.4E+05	Pu-241	1.5E+17
Pb-209	4.4E+05	Ac-227	2.5E+07	Pu-242	3.4E+12
Pb-210	1.7E+06	Ac-228	5.8E+06	Pu-243	1.9E+05

表 1.1.3-2 インベントリ評価結果：2号機(3/3)

核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]
Pu-244	6.1E+05	Cm-242	1.3E+13	Cm-248	4.8E+05
Am-241	4.1E+15	Cm-243	2.3E+13	Bk-249	1.5E+05
Am-242	1.5E+13	Cm-244	2.2E+15	Cf-249	4.5E+06
Am-242m	1.5E+13	Cm-245	3.9E+11	Cf-250	2.5E+07
Am-243	2.8E+13	Cm-246	6.1E+10	Cf-251	2.5E+05
Am-245	2.2E+00	Cm-247	1.9E+05	Cf-252	3.3E+06

表 1.1.3-3 インベントリ評価結果：3号機(1/3)

核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]
H-3	5.7E+14	Nb-93m	2.2E+12	Te-123	1.2E+04
Be-10	1.1E+09	Nb-94	3.6E+11	Te-123m	2.0E+04
C-14	9.8E+12	Mo-93	6.1E+11	Te-125m	3.8E+14
Na-22	5.0E+07	Tc-97	4.1E+06	Te-127	1.2E+04
Si-32	1.5E+06	Tc-98	1.0E+07	Te-127m	1.2E+04
P-32	1.5E+06	Tc-99	3.2E+13	I-129	5.6E+10
Cl-36	1.3E+10	Ru-106	2.7E+14	Cs-134	8.6E+15
Ar-39	2.4E+11	Rh-101	1.5E+05	Cs-135	1.2E+12
Ar-42	1.3E+04	Rh-102	9.4E+06	Cs-137	1.8E+17
K-40	1.5E+08	Rh-102m	2.0E+07	Ba-133	5.6E+10
K-42	1.3E+04	Rh-106	2.7E+14	Ba-137m	1.7E+17
Ca-41	6.8E+09	Pd-107	2.0E+11	La-137	1.6E+07
Ca-45	6.8E+06	Ag-108	5.8E+09	La-138	4.1E+04
Sc-46	5.2E+01	Ag-108m	6.7E+10	Ce-139	6.9E+03
V-49	3.8E+04	Ag-109m	1.3E+10	Ce-142	6.3E+07
Mn-54	6.1E+11	Ag-110	4.1E+08	Ce-144	6.2E+13
Fe-55	4.4E+15	Ag-110m	3.0E+10	Pr-144	6.2E+13
Co-60	1.4E+16	Cd-109	1.3E+10	Pr-144m	9.4E+11
Ni-59	3.0E+13	Cd-113m	2.8E+13	Nd-144	3.9E+03
Ni-63	3.4E+15	In-113m	2.4E+04	Pm-144	3.7E+01
Zn-65	1.5E+09	In-115	4.9E+03	Pm-145	3.0E+10
Se-75	1.5E+03	Sn-113	2.4E+04	Pm-146	1.2E+12
Se-79	1.3E+11	Sn-119m	2.2E+10	Pm-147	2.0E+16
Kr-81	1.7E+10	Sn-121	2.4E+13	Sm-145	4.4E+07
Kr-85	1.1E+16	Sn-121m	3.1E+13	Sm-146	2.3E+05
Rb-87	1.1E+08	Sn-123	1.7E+05	Sm-147	1.6E+07
Sr-90	1.4E+17	Sn-126	5.5E+11	Sm-148	8.6E+01
Y-88	1.0E+00	Sb-125	1.0E+15	Sm-149	2.3E+00
Y-90	1.4E+17	Sb-126	7.7E+10	Sm-151	8.0E+14
Zr-93	4.7E+12	Sb-126m	5.5E+11	Eu-150	3.8E+07
Nb-91	4.1E+05	Te-121	9.3E+02	Eu-152	3.1E+12
Nb-92	3.9E+06	Te-121m	9.3E+02	Eu-154	4.2E+15

表 1.1.3-3 インベントリ評価結果：3号機(2/3)

核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]
Eu-155	1.3E+15	Pb-211	2.4E+07	Th-227	2.4E+07
Gd-152	4.6E+00	Pb-212	3.8E+10	Th-228	3.8E+10
Gd-153	3.6E+08	Pb-214	5.5E+06	Th-229	4.0E+05
Tb-157	9.5E+08	Bi-208	9.1E+05	Th-230	8.6E+08
Tb-158	6.8E+08	Bi-210	1.8E+06	Th-231	1.4E+11
Dy-159	2.5E+01	Bi-210m	2.4E+05	Th-232	5.9E+06
Ho-163	2.2E+07	Bi-211	2.4E+07	Th-234	1.1E+12
Ho-166m	9.2E+09	Bi-212	3.8E+10	Pa-231	9.0E+07
Tm-170	7.0E+05	Bi-213	4.0E+05	Pa-233	5.8E+11
Tm-171	1.9E+12	Bi-214	5.5E+06	Pa-234	1.4E+09
Lu-176	7.2E+05	Po-210	1.8E+06	Pa-234m	1.1E+12
Lu-177	6.5E+05	Po-211	6.8E+04	U-232	3.9E+10
Lu-177m	2.8E+06	Po-212	2.4E+10	U-233	1.4E+08
Hf-182	2.9E+06	Po-213	3.9E+05	U-234	5.1E+12
Ta-182	3.0E+06	Po-214	5.5E+06	U-235	1.4E+11
W-181	1.2E+03	Po-215	2.4E+07	U-236	7.0E+11
Re-187	2.2E+06	Po-216	3.8E+10	U-237	4.0E+12
Os-194	2.0E+08	Po-218	5.5E+06	U-238	1.1E+12
Ir-192	6.9E+06	At-217	4.0E+05	U-240	5.5E+05
Ir-192m	6.9E+06	Rn-219	2.4E+07	Np-235	2.5E+06
Ir-194	2.0E+08	Rn-220	3.8E+10	Np-236	8.6E+06
Ir-194m	4.4E+03	Rn-222	5.5E+06	Np-237	5.8E+11
Pt-190	2.1E+03	Fr-221	4.0E+05	Np-238	3.0E+11
Pt-193	3.6E+12	Fr-223	3.4E+05	Np-239	2.9E+13
Tl-204	5.4E+12	Ra-223	2.4E+07	Np-240m	5.5E+05
Tl-206	2.4E+05	Ra-224	3.8E+10	Pu-236	3.6E+10
Tl-207	2.4E+07	Ra-225	4.0E+05	Pu-238	6.7E+15
Tl-208	1.4E+10	Ra-226	5.5E+06	Pu-239	1.1E+15
Tl-209	8.6E+03	Ra-228	5.9E+06	Pu-240	1.4E+15
Pb-205	1.2E+06	Ac-225	4.0E+05	Pu-241	1.6E+17
Pb-209	4.0E+05	Ac-227	2.4E+07	Pu-242	4.6E+12
Pb-210	1.8E+06	Ac-228	5.9E+06	Pu-243	1.3E+05

表 1.1.3-3 インベントリ評価結果：3号機(3/3)

核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]	核種	放射エネルギー [Bq]
Pu-244	5.5E+05	Cm-242	4.9E+13	Cm-248	3.3E+05
Am-241	5.6E+15	Cm-243	2.9E+13	Bk-249	1.0E+05
Am-242	5.9E+13	Cm-244	1.9E+15	Cf-249	3.0E+06
Am-242m	5.9E+13	Cm-245	3.1E+11	Cf-250	1.6E+07
Am-243	2.9E+13	Cm-246	4.6E+10	Cf-251	1.6E+05
Am-245	1.5E+00	Cm-247	1.3E+05	Cf-252	2.0E+06

2.4 インベントリ評価における不確かさ

本評価では、通常の原子力発電所の安全評価やALPS除去対象核種での検討、電力共同研究において検討してきた余裕深度対象（L1）廃棄物や高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）およびハル等廃棄物の条件を基に検討しているが、入力条件の中には不確かさを含む条件があることから、評価結果にも不確かさが含まれている。

入力条件と不確かさの詳細は表 1.1.3-4 に示す通り、核分裂生成物では入力条件による不確かさはほとんど存在せず、現実的な評価を行うことが出来ていると考えられるが、放射化生成物では元素濃度条件等に保守側の不確かさが存在している。

表 1.1.3-4 インベントリ評価における不確かさ

条件	入力状況	不確かさ	
核分裂生成物評価	燃料型式	2011年3月11日に福島第一原子力発電所の1～3号機の炉心に装荷していた燃料データ	小
	ウラン重量		
	濃縮度		
	燃料組成	U-234 : U-235 の濃縮度×0.008 (天然組成比) U-235 : 燃料データの濃縮度より U-238 : U-234, U-235 の重量%からの差分	小
	燃焼度	燃料体毎の 2011 年 3 月 11 日時点の燃焼度	小
	照射条件	定期検査を考慮せず, 100% 熱出力で連続運転	小 ^{※1}
	冷却期間	12 年間 (～2023 年 3 月 11 日)	小
放射化生成物評価	評価対象機器と機器重量	燃料体 : 全重量 チャンネルボックス (CB) : 各機器全重量 制御棒 (CR) その他構造材 RPV : 全重量×25% ペDESTAL : IRID の補助事業「事故進展解析及び実機データ等による炉内状況把握の高度化」より設定 (約 160ton/号機) 腐食生成物 : 過去 4 サイクルの, 給水からの持ち込み金属の実績 (原子炉冷却材浄化系による除去未考慮)	小～大 ^{※2}
	元素濃度条件	各機器は, 過去の電力共同研究から, 材料規格などで規定される主成分と不純物成分の他, これらで管理されない微量成分を考慮 この考え方より, 元素周期表の原子番号 1~103 から Bi, Th, U 以外の放射元素 (20 元素) を除く 83 元素を設定対象としており, 本評価では希ガスを除いた元素濃度条件を設定	大 ^{※3}
	照射量/ 中性子束・ 照射期間	燃料体・CB : 燃料の平均燃焼度と同等として設定 CR : 1F-1~3 の CR の照射量 (全体平均) の実績に余裕を見て設定 その他構造材 : 機器の中央部における中性子束と炉内の存在した期間から算出 RPV・ペDESTAL : 各機器・構造物の中央部における中性子束と供用期間から算出 腐食生成物 : 被覆管に付着した際の中性子束と付着を想定する被覆管の炉内への装荷期間 (4 サイクル) で算出	小～中
	照射条件	定期検査を考慮せず, 100% 熱出力で連続運転	小 ^{※1}
	冷却期間	12 年間 (～2023 年 3 月 11 日)	小

※1 : 短半減期の核種で保守的となるが, 冷却期間 12 年後ではほとんど影響しない

※2 : 実際に寄与している重量は不明だが, 図面等から上表の重量で設定している。

※3 : 規格に記載された元素濃度は最大値で設定し, 規格で管理されない微量成分についても過去の調査から保守的に設定, もしくは未調査の微量成分については保守的な初期条件を設定している

インベントリ計算に用いるコード (ORIGEN-2) について

1. 概要

ORIGEN-2 コードは、米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) で開発された炉内中性子束の 1 点近似による燃料計算コードである。ORIGEN-2 コードは汎用解析コードであり輸送キャスクの崩壊熱計算等に広く利用されている。

2. 機能

ORIGEN-2 コードは、燃焼解析に際して以下の機能を有している。

- ①燃料の炉内での燃焼計算，炉取出し後の減衰計算により，冷却期間に対応した崩壊熱，放射線の強度，各核種の放射エネルギー等が求められる。
- ②原子炉の炉型と燃料の組合せに対し，中性子エネルギースペクトルの違いにより重みをつけた断面積ライブラリが内蔵されており，任意に選択できる。
- ③計算結果は，放射化生成物，アクチノイド，核分裂生成物に分類して出力される。
- ④燃焼計算に必要な放射性核種データ（崩壊熱，ガンマ線のエネルギー分布，自発核分裂と (α, n) 反応により発生する中性子源強度等）に関しては，ORIGEN-2 コード専用のライブラリがあり，これを用いる。

3. 計算フロー

ORIGEN-2 コードの計算フローを図 1.1.3-5 に示す。

4. 使用実績

ORIGEN-2 コードは，輸送キャスク，核燃料施設の崩壊熱計算に広く使用されている。

5. 検証方法

汎用コードの導入評価^{※1}が実施されていることが確認されている。大型実験/ベンチマーク試験による検証^{※2}が実施されていることが確認されている。

※1:A.G.Croff, “ORIGEN2 Isotope Generation and Depletion Code MATRIX EXPONENTIAL METHOD”, CCC-371(1987)

※2: (社) 日本原子力学会 “原子炉崩壊熱とその推奨値”，1989 年 8 月

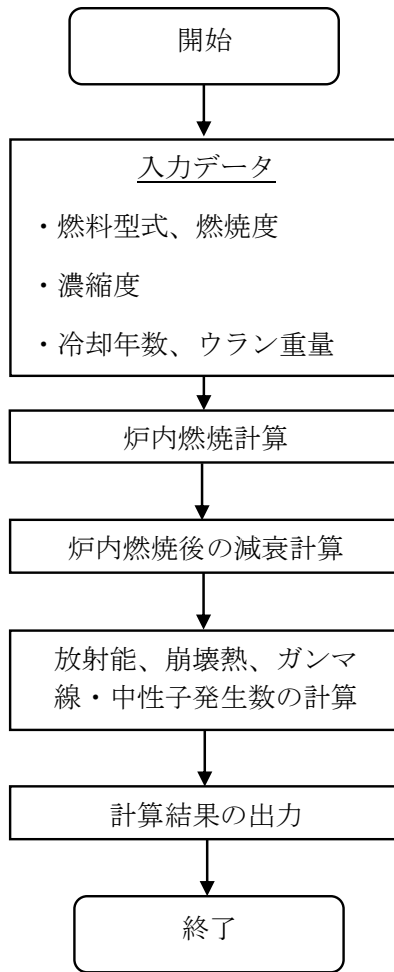


図 1.1.3-5 ORIGEN-2 コードの計算フロー図

以上

インベントリ計算に用いるコード（ORIGEN-S）について

1. 概要

SCALE 5.1/ORIGEN-S コード(以下, ORIGEN-S)は, 米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) で開発された高速中性子, 熱外中性子, 熱中性子の3群スペクトルを使用可能な放射化計算コードである。ORIGEN-S コードは汎用解析コードであり炉内構造物の放射化計算, 原子炉施設の廃止措置等に広く利用されている。

2. 機能

ORIGEN-S コードで計算可能な内容は次に示す通りである。

- ①燃料の核種組成 (重量), 照射期間 (運転パターン), 炉内中性子束あるいは炉の比出力を入力することによって, 各核種の放射エネルギー, 中性子やガンマ線発生数, 核分裂生成物やアクチノイド核種の生成量を計算する。
- ②評価対象である構造物の材料組成, 中性子束, 照射履歴を入力することによって, 構造物の放射化放射エネルギーを計算する。
- ③評価対象である構造物の材料組成, 中性子束, 照射履歴を入力することによって, 生成, 消滅計算から得られる放射性核種の発熱量を計算する。

3. 計算フロー

ORIGEN-S コードの計算フローを図 1.1.3-6 に示す。

4. 使用実績

ORIGEN-S コードは, 燃料とは中性子スペクトルが異なる炉内構造物の放射化計算や原子炉施設の廃止措置を目的とした原子炉压力容器や生体遮へい材等の放射化計算に広く使用されている。

5. 検証方法

汎用コードの導入評価^{※1}が実施されていることが確認されている。大型実験/ベンチマーク試験による検証^{※2}が実施されていることが確認されている。

※1: SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, ORNL/TM-2005/39, Version 5.1, Vols. I-III, November (2006)

※2: K. Tanaka et al., "Radioactivity evaluation for Main Steam Line and Suppression Chamber of small type BWR", Progress in Nuclear Science and Technology Volume 4 (2014) pp.836-839

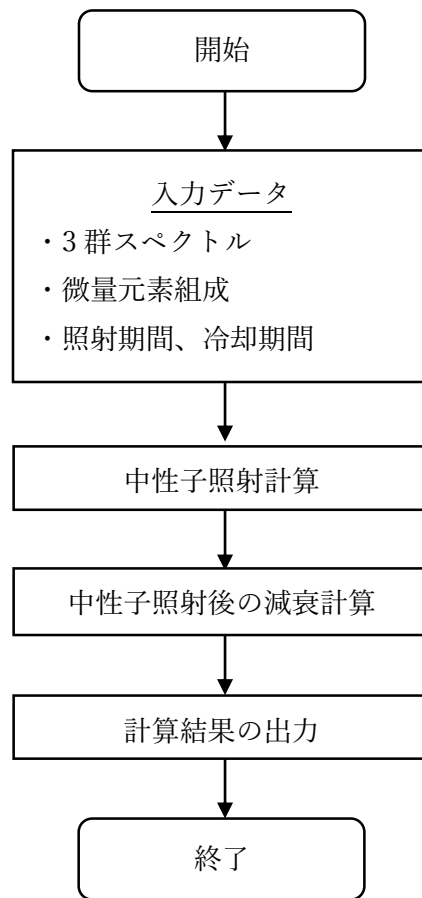


図 1.1.3-6 ORIGIN-S コードの計算フロー図

ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の検討のうち
核種選定の考え方に係る補足説明

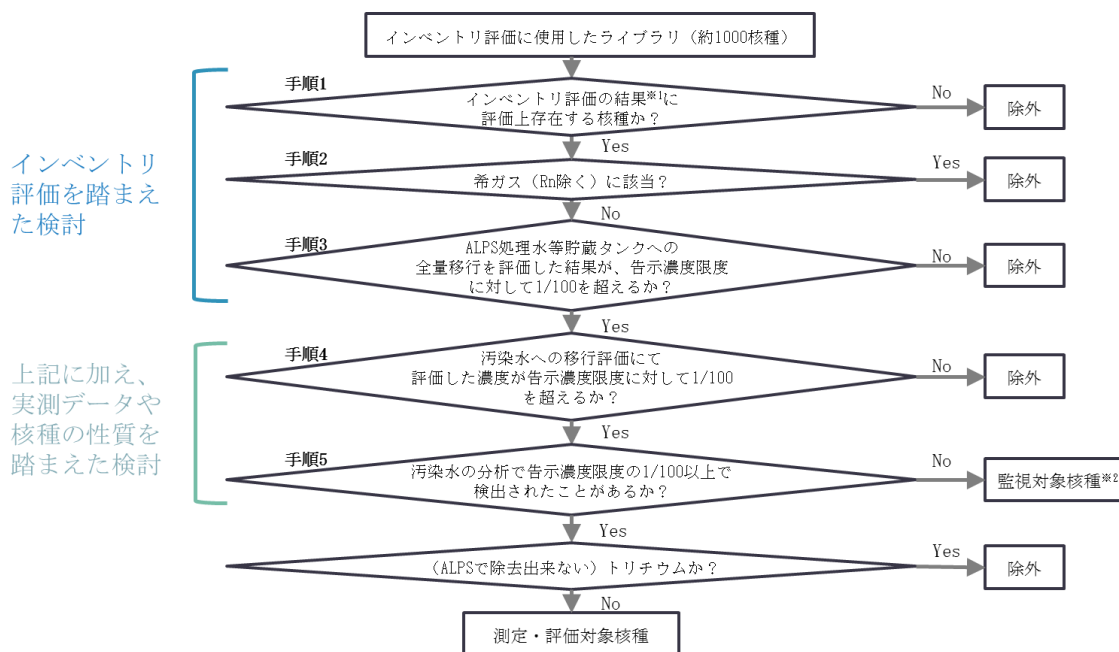
1. 概要

ALPS 処理水中の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た核種分析及びインベントリ評価の内容について、別紙－2，別紙－3で補足説明した。

本資料では、核種分析及びインベントリ評価の結果を用いて、ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種を選定するための考え方について補足説明する。

2. 測定・評価対象核種の選定方法

ALPS 処理水の海洋放出時に確認する測定・評価対象核種は図 1.1.4-1 に示すフローにより、選定する。本項ではそれぞれの手順について補足説明する。



※1：インベントリ評価の減衰期間は、選定結果を使用する時期に応じて適切に設定
(初回は2023年(事故後12年)に設定)

※2：汚染水中に有意に存在しないか継続して確認する核種

図 1.1.4-1 ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種選定フロー

2.1 手順1について

手順1の「インベントリ評価の結果に評価上存在する核種か?」という項目では、インベントリ評価の結果、評価上存在するか（1～3号機のそれぞれの炉心に1Bq以上存在するか）という基準により、評価上存在しない核種は当該手順で除外する。

なお、選定フローでは、インベントリ評価の減衰期間は適切に設定することとしており、今回の評価では、ALPS処理水海洋放出を開始する、震災後12年（2023年3月）を減衰期間として設定した。

この結果、表1.1.4-1に示す210核種が存在することを確認した（インベントリ評価詳細は別紙-3参照）。

表 1.1.4-1 手順1の結果で評価上存在する核種（1/2）

No.	核種	No.	核種	No.	核種	No.	核種	No.	核種
1	H-3	21	Zn-65	41	Rh-102	61	Sb-126	81	Pr-144
2	Be-10	22	Se-75	42	Rh-102m	62	Sb-126m	82	Pr-144m
3	C-14	23	Se-79	43	Rh-106	63	Te-121	83	Nd-144
4	Na-22	24	Kr-81	44	Pd-107	64	Te-121m	84	Pm-144
5	Si-32	25	Kr-85	45	Ag-108	65	Te-123	85	Pm-145
6	P-32	26	Rb-87	46	Ag-108m	66	Te-123m	86	Pm-146
7	Cl-36	27	Sr-90	47	Ag-109m	67	Te-125m	87	Pm-147
8	Ar-39	28	Y-88	48	Ag-110	68	Te-127	88	Sm-145
9	Ar-42	29	Y-90	49	Ag-110m	69	Te-127m	89	Sm-146
10	K-40	30	Zr-93	50	Cd-109	70	I-129	90	Sm-147
11	K-42	31	Nb-91	51	Cd-113m	71	Cs-134	91	Sm-148
12	Ca-41	32	Nb-92	52	In-113m	72	Cs-135	92	Sm-149
13	Ca-45	33	Nb-93m	53	In-115	73	Cs-137	93	Sm-151
14	Sc-46	34	Nb-94	54	Sn-113	74	Ba-133	94	Eu-150
15	V-49	35	Mo-93	55	Sn-119m	75	Ba-137m	95	Eu-152
16	Mn-54	36	Tc-97	56	Sn-121	76	La-137	96	Eu-154
17	Fe-55	37	Tc-98	57	Sn-121m	77	La-138	97	Eu-155
18	Co-60	38	Tc-99	58	Sn-123	78	Ce-139	98	Gd-152
19	Ni-59	39	Ru-106	59	Sn-126	79	Ce-142	99	Gd-153
20	Ni-63	40	Rh-101	60	Sb-125	80	Ce-144	100	Tb-157

表 1.1.4-1 手順 1 の結果で評価上存在する核種 (2/2)

No.	核種	No.	核種	No.	核種	No.	核種	No.	核種
101	Tb-158	123	Tl-207	145	Po-216	167	Th-234	189	Pu-240
102	Dy-159	124	Tl-208	146	Po-218	168	Pa-231	190	Pu-241
103	Ho-163	125	Tl-209	147	At-217	169	Pa-233	191	Pu-242
104	Ho-166m	126	Pb-205	148	Rn-219	170	Pa-234	192	Pu-243
105	Tm-170	127	Pb-209	149	Rn-220	171	Pa-234m	193	Pu-244
106	Tm-171	128	Pb-210	150	Rn-222	172	U-232	194	Am-241
107	Lu-176	129	Pb-211	151	Fr-221	173	U-233	195	Am-242
108	Lu-177	130	Pb-212	152	Fr-223	174	U-234	196	Am-242m
109	Lu-177m	131	Pb-214	153	Ra-223	175	U-235	197	Am-243
110	Hf-182	132	Bi-208	154	Ra-224	176	U-236	198	Am-245
111	Ta-182	133	Bi-210	155	Ra-225	177	U-237	199	Cm-242
112	W-181	134	Bi-210m	156	Ra-226	178	U-238	200	Cm-243
113	Re-187	135	Bi-211	157	Ra-228	179	U-240	201	Cm-244
114	Os-194	136	Bi-212	158	Ac-225	180	Np-235	202	Cm-245
115	Ir-192	137	Bi-213	159	Ac-227	181	Np-236	203	Cm-246
116	Ir-192m	138	Bi-214	160	Ac-228	182	Np-237	204	Cm-247
117	Ir-194	139	Po-210	161	Th-227	183	Np-238	205	Cm-248
118	Ir-194m	140	Po-211	162	Th-228	184	Np-239	206	Bk-249
119	Pt-190	141	Po-212	163	Th-229	185	Np-240m	207	Cf-249
120	Pt-193	142	Po-213	164	Th-230	186	Pu-236	208	Cf-250
121	Tl-204	143	Po-214	165	Th-231	187	Pu-238	209	Cf-251
122	Tl-206	144	Po-215	166	Th-232	188	Pu-239	210	Cf-252

2.2 手順2について

手順2の「希ガス（Rn 除く）に該当？」という項目では、主に原子炉運転中に生成し、希ガスとなっている核種は、運転時や震災時に放出して炉心には存在していないと考えられる他、仮に残存していたとしても、希ガスは安定元素のため、汚染水に溶けないことから、ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種には該当しないと考え、これらの核種を除外する。なお、ラドン（Rn）については、ウランやネプツニウム等の崩壊系列により、現在でも炉心に存在することが考えられるため、希ガスに該当するものの、当該手順では除外しない。

今回の評価において、Rn を除く希ガスは以下4核種であり、半減期や生成経路も併せて確認した結果は表 1.1.4-2 の通り。

表 1.1.4-2 手順2で除外される核種とその生成経路

核種（希ガス）	半減期 [y]	主な生成経路
Ar-39	2.7E+02	構造材に含まれる微量成分（K）の放射化により生成
Ar-42	3.3E+01	構造材に含まれる微量成分（K, Ca 等）の放射化により生成
Kr-81	2.3E+05	燃料の核分裂により生成 構造材に含まれる微量成分（Br）の放射化により生成
Kr-85	1.1E+02	燃料の核分裂により生成

2.3 手順3について

手順3の「ALPS 処理水等貯留タンクへの全量移行を評価した結果が、告示濃度限度に対して 1/100 を超えるか？」という項目では、線量評価に与える影響が十分小さいか（告示濃度限度比の 1/100 以下）を確認したうえで、線量評価に与える影響が十分小さい核種について、当該基準で除外する。なお、PCV 内に存在するインベントリが全量、2023 年 3 月時点の ALPS 処理水等貯留タンクの貯蔵量（予測）※に溶けたと想定するため、PCV 内部調査で確認された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。

※：インベントリ評価の条件と合わせた時期とする

$$\text{核種iの濃度} = \text{核種iのインベントリ量(Bq)} \div \frac{\text{ALPS処理水等の貯蔵量 (m}^3\text{)}}{133\text{万m}^3 \text{ (予測値) @2023年3月時点}} < \text{核種iの告示濃度限度} \times 0.01 \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$$

また、手順4に進む核種の告示濃度限度比総和（評価値） $2.4\text{E}+07$ と比較して、手順3で除外される核種の告示濃度限度比総和（評価値）は $6.7\text{E}-02$ と十分小さいことを確認している。

この結果、手順4に進む核種は93核種、除外される核種は113核種となる。

表 1.1.4-3 手順 4 に進む核種 (93 核種)

No.	核種	No.	核種	No.	核種	No.	核種	No.	核種
1	H-3	46	Ag-108m	81	Pr-144	159	Ac-227	189	Pu-240
3	C-14	49	Ag-110m	82	Pr-144m	162	Th-228	190	Pu-241
7	Cl-36	50	Cd-109	86	Pm-146	164	Th-230	191	Pu-242
16	Mn-54	51	Cd-113m	87	Pm-147	165	Th-231	194	Am-241
17	Fe-55	55	Sn-119m	93	Sm-151	167	Th-234	195	Am-242
18	Co-60	56	Sn-121	95	Eu-152	168	Pa-231	196	Am-242m
19	Ni-59	57	Sn-121m	96	Eu-154	169	Pa-233	197	Am-243
20	Ni-63	59	Sn-126	97	Eu-155	172	U-232	199	Cm-242
21	Zn-65	60	Sb-125	104	Ho-166m	173	U-233	200	Cm-243
23	Se-79	61	Sb-126	106	Tm-171	174	U-234	201	Cm-244
27	Sr-90	62	Sb-126m	120	Pt-193	175	U-235	202	Cm-245
29	Y-90	67	Te-125m	121	Tl-204	176	U-236	203	Cm-246
30	Zr-93	70	I-129	130	Pb-212	177	U-237	208	Cf-250
33	Nb-93m	71	Cs-134	136	Bi-212	178	U-238		
34	Nb-94	72	Cs-135	141	Po-212	182	Np-237		
35	Mo-93	73	Cs-137	145	Po-216	183	Np-238		
38	Tc-99	74	Ba-133	149	Rn-220	184	Np-239		
39	Ru-106	75	Ba-137m	153	Ra-223	186	Pu-236		
43	Rh-106	79	Ce-142	154	Ra-224	187	Pu-238		
44	Pd-107	80	Ce-144	157	Ra-228	188	Pu-239		

2.4 手順4について

2.4.1 汚染水への移行評価の概要

手順4の「汚染水への移行評価にて評価した濃度が告示濃度限度に対して1/100を超えるか？」という項目では、手順4まで進んだ核種を可能な範囲でグループ化した後、実際の分析結果を使用して「汚染水への移行評価」を行い、線量評価に与える影響が十分小さいか（告示濃度限度の1/100以下）を確認したうえで、線量評価に与える影響が十分小さい核種について、当該手順で除外する。

具体的には、手順4までに進んだ核種について、放射平衡や同位体、核種の性質の類似性等からグルーピングを行い、グループ内で線量影響（インベントリ量/告示濃度限度）の相対的な関係を確認し、代表核種に対して十分に線量影響（相対比1/100以下）の小さい核種を除外している。その後、グループもしくはグルーピング出来なかった個別核種毎に実際の分析結果から放射性核種毎の水への移行のしやすさ（以下「移行係数」という。）を算出したうえで、同係数を使用して、放射性核種毎の汚染水中の濃度を評価する。具体的には下記式にて評価を実施する。

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

※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。

検出値の場合はそれぞれの日付を2011年3月11日に、検出下限値の場合はそれぞれの日付を分析の基準日に統一して評価

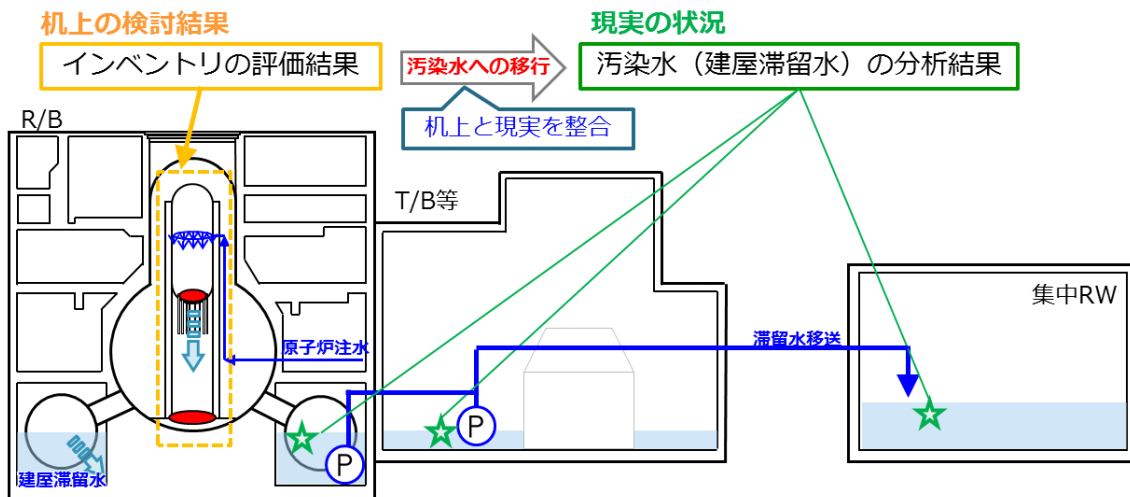


図 1.1.4-2 汚染水への移行評価のイメージ

ここで、グループ内の代表核種に対する線量影響の相対比を 1/100 以下、汚染水への移行評価で告示濃度限度の 1/100 以下に設定した理由は、線量影響が十分小さいことが理由であるが、それぞれの影響について、相対比の場合は除外される核種の線量影響が全体の 0.09% であること、汚染水への移行評価では手順 5 に進む核種の告示濃度限度比総和（評価） $7.7\text{E}+07$ と比較して、除外される核種の告示濃度限度比総和（評価）が $3.6\text{E}-02$ と十分小さいことを確認している。

また、本評価での評価対象箇所は ALPS 処理前の建屋滞留水やストロチウム処理水であるため、当該手順で除外される核種の線量影響の合計（評価値）が 1/100 を超えていたとしても、その後の ALPS 処理を踏まえると線量影響は無視できるほど小さいと考えている。

2.4.2 汚染水への移行評価に使用する分析結果

移行係数の算出に当たって使用する分析結果は、表 1.1.4-4、図 1.1.4-3 に示す通り、4 種類に分けてデータを集約した。

なお、汚染水は全て集中 Rw（プロセス主建屋（PMB）、高温焼却炉建屋（HTI））に集水した後、セシウム吸着装置（SARRY/SARRY2）にて処理を行い、この水が最終的に ALPS 処理水となることから、集中 Rw の分析結果を使用することを基本とする。ただし、集中 Rw の分析結果だけでは全ての放射性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、それらの核種については、1～4号機建屋滞留水等と ALPS 処理前の分析データで補完することで対応する。

表 1.1.4-4 分析結果の分類

No.	分析の分類	詳細
①	建屋滞留水等@ 1～4号機	1～4号機の 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～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

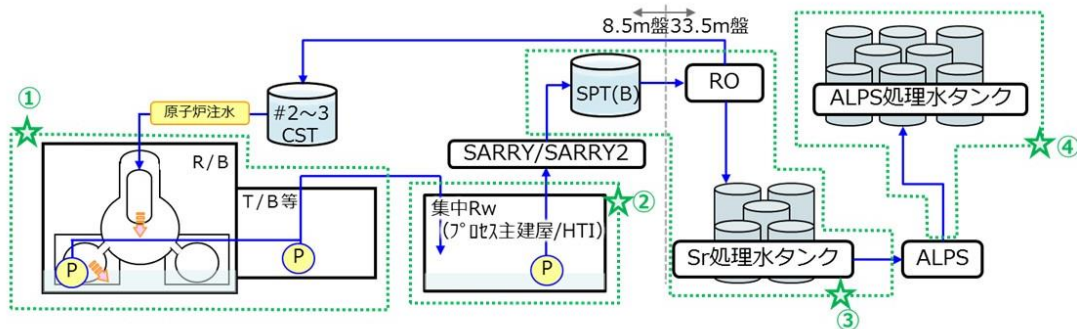
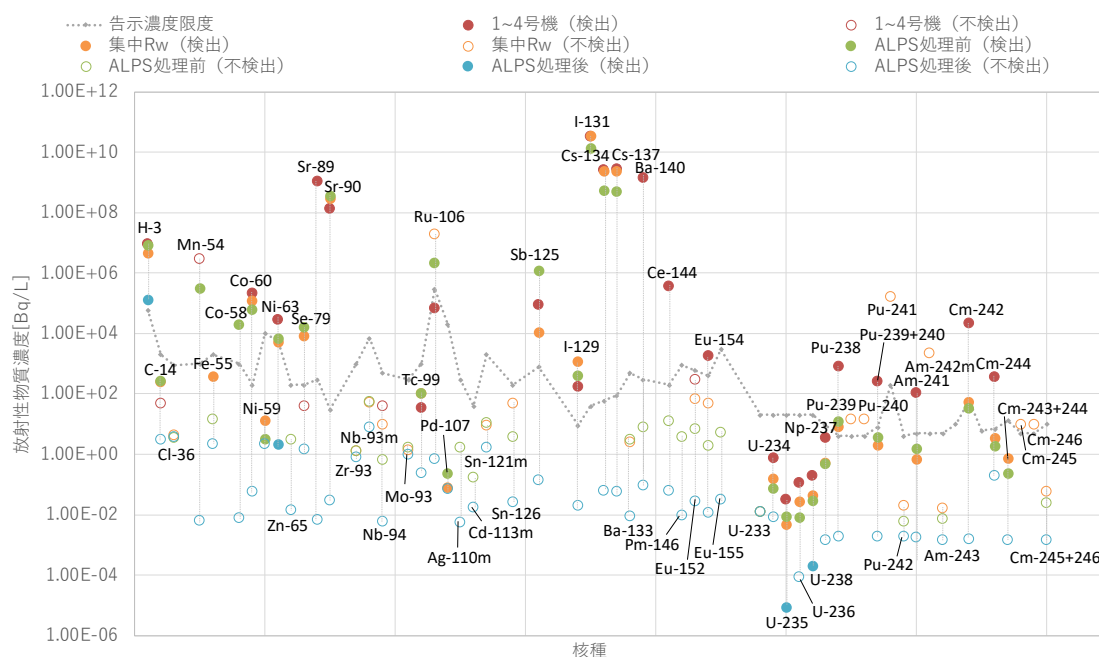


図 1.1.4-3 移行評価で使用する分析結果の分類

表 1.1.4-4 で示した試料の採取箇所毎に分類し、手順 4 まで進んだ放射性核種（短半減期の同位体の検出値含む）の分析結果を図 1.1.4-4 の通り整理した。図 1.1.4-4 では、表 1.1.4-4 における 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しており、No.④はこれまでの分析結果の最小値を記載している。なお、過去に一度も検出されたことのない核種について分析データの最小値を用いているのは、検出下限値はその値より低い濃度で存在する可能性があることを示すものの、その濃度より高いことが無いことを保証していることから、過去に一度も検出されたことが無い場合は、分析結果の中で最小の検出下限値で評価しても十分に保守的と考えているためである。

本図では、建屋滞留水から ALPS 処理水になるまでに処理される過程の、各放射性核種の濃度の範囲が把握出来ると共に、各核種の告示濃度限度も記載することで、分析結果と告示濃度限度との比較ができる表記とした。なお、今回の汚染水への移行評価で使用したデータは参考資料-1 に記載している。



- ※1：2013~2014年に既設ALPS入口でSr-89が検出されたことになっているが、擬似検出であるため評価の対象外
- ※2：2014年の高性能ALPS入口でPm-146が3.6 Bq/L（検出下限値：3.5 Bq/L）で検出されたことになっているが、インベントリ量の多い他のランタノイド元素Eu-154, Eu-155が検出されていないこと等から、偶発的な検出と考えられるため評価の対象外
- ※3：Pu-238, Am-241, Cm-242について、FRAnDLiのデータは分析値から2011/3/11の基準日へ単純な減衰補正をしているものの、これら核種は親核種からも生成されることから、親核種からの生成を考慮した減衰補正を実施。

図 1.1.4-4 分析結果まとめ

図 1.1.4-4 を作成に当たって、2022 年 9 月までに JAEA が公開している FRAnDLi のデータ（東電公表分含む）の他、ALPS の性能確認時等の 62 核種分析（2013～2021 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等を使用している。なお、検出下限値のデータを使用するに当たっては、検出下限値の数値が記載されているデータのみを集計の対象としており、“N.D.”のみが記載されているデータは集計の対象外とした。各放射性核種の分析データ数は表 1.1.4-5 の通り。

表 1.1.4-5 分析データ数 (1/2)

核種	① 1～4号機	② 集中Rw	③ ALPS 処理前	④ ALPS 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)	312 (312)	483 (483)
C-14	5 (0)	15 (1)	27 (15)	339 (338)
Cl-36	0 (0)	10 (0)	12 (0)	3 (0)
Mn-54	2 (0)	0 (0)	1195 (290)	1893 (14)
Fe-55	0 (0)	1 (1)	1 (0)	3 (0)
Co-58	0 (0)	0 (0)	27 (5)	42 (0)
Co-60	40 (20)	37 (25)	1569 (1405)	2321 (2177)
Ni-59	0 (0)	3 (1)	12 (1)	3 (0)
Ni-63	13 (10)	17 (15)	93 (49)	55 (1)
Zn-65	0 (0)	0 (0)	22 (0)	42 (0)
Se-79	10 (0)	15 (9)	47 (12)	5 (0)
Sr-89	4 (3)	0 (0)	66 (17 ^{※1})	128 (0)
Sr-90	41 (40)	36 (36)	845 (834)	1773 (768)
Zr-93	0 (0)	1 (0)	1 (0)	3 (0)
Nb-93m	0 (0)	1 (0)	1 (0)	3 (0)
Nb-94	36 (0)	33 (0)	68 (0)	5 (0)
Mo-93	0 (0)	1 (0)	1 (0)	3 (0)
Tc-99	5 (2)	17 (7)	247 (222)	896 (105)
Ru-106	6 (1)	2 (0)	1256 (974)	2369 (1425)
Pd-107	0 (0)	1 (1)	1 (1)	1 (0)
Ag-110m	0 (0)	0 (0)	22 (0)	42 (0)
Cd-113m	0 (0)	0 (0)	22 (0)	42 (0)
Sn-121m	0 (0)	1 (0)	1 (0)	3 (0)
Sn-126	0 (0)	2 (0)	34 (0)	44 (0)
Sb-125	27 (9)	10 (9)	1619 (1606)	2369 (1583)
I-129	22 (4)	30 (10)	450 (381)	1833 (1558)
I-131	4 (0)	16 (2)	43 (22)	0 (0)

※1：2013-2014年に既設ALPS入口にSr-89が検出されたことになっているが、擬似検出であるため評価の対象外

※2：手順4には進んでいないものの、Te-123m(半減期：119日)が2019年9月9日の増設ALPS(B)出口で告示濃度限度(6.0E+01Bq/L)の1/100以下の1.1E-01Bq/Lで検出されている(検出下限値は0.9E-01Bq/L)

表 1.1.4-5 分析データ数 (2/2)

核種	① 1～4号機	② 集中Rw	③ ALPS処理前	④ ALPS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)	1503 (1262)	2377 (360)
Cs-137	224 (224)	296 (296)	1746 (1700)	2382 (1505)
Ba-133	0 (0)	1 (0)	2 (0)	6 (0)
Ba-140	4 (2)	0 (0)	22 (0)	42 (0)
Ce-144	3 (3)	0 (0)	22 (0)	42 (0)
Pm-146	0 (0)	0 (0)	22 (1※ ¹)	42 (0)
Eu-152	36 (0)	36 (0)	93 (0)	44 (0)
Eu-154	38 (2)	36 (0)	114 (0)	47 (0)
Eu-155	0 (0)	0 (0)	22 (0)	42 (0)
U-233	0 (0)	3 (0)	8 (0)	3 (0)
U-234	25 (7)	19 (11)	22 (7)	3 (0)
U-235	26 (19)	19 (14)	44 (14)	6 (3※ ²)
U-236	20 (7)	19 (12)	22 (8)	3 (0)
U-238	31 (26)	19 (17)	44 (20)	6 (3※ ²)
Np-237	9 (9)	13 (9)	16 (7)	3 (0)
Pu-238	38 (17)	37 (22)	73 (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)	36 (12)	73 (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)	37 (6)	62 (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)	2 (1)	3 (0)
Cm-244	37 (7)	36 (2)	61 (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)

※1：2014年の高性能ALPS入口でPm-146が3.6Bq/L(検出下限値：3.5Bq/L)で検出されたことになっているが、インベントリ量の多い他のランタノイド元素Eu-154, Eu-155が検出されていないこと等から、偶発的な検出と考えられるため評価の対象外

※2：ALPS処理水に含まれる天然ウランを検出(別紙-2参照)

2.4.3 核種のグルーピング

2.4.3.1 核種のグルーピングの考え方

(1) 放射平衡の子孫核種

手順4まで進んだ核種のうち、放射平衡で存在する核種を表1.1.4-6、表1.1.4-7に示す。表1.1.4-6に示す子孫核種は半減期が短く、ALPS処理水を海洋放出する震災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す。一方、表1.1.4-7に示す子孫核種は半減期が長く、親核種と子孫核種が放射平衡になる、子孫核種の半減期の約7~10倍の期間までに処理水の放出を完了させる計画であることから、本評価では親核種と子孫核種を別々に評価する。

表 1.1.4-6 放射平衡により親核種と一緒に挙動していると評価する子孫核種

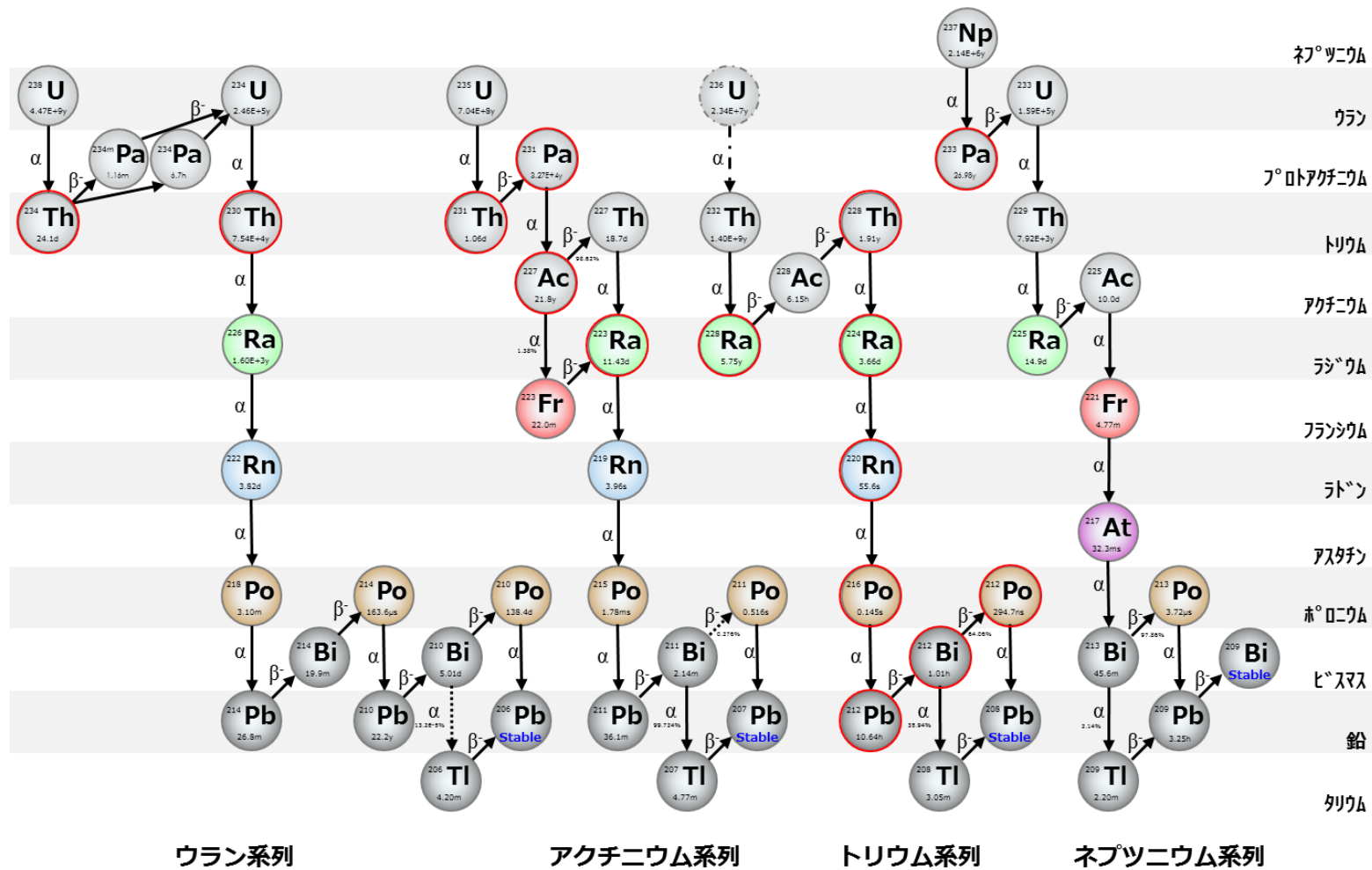
No.	親核種		子孫核種	
	核種	半減期	核種	半減期
1	Sr-90	2.9E+01 [y]	Y-90	2.67 [d]
2	Ru-106	1.0E+00 [y]	Rh-106	30.07 [s]
3	Sn-121m	4.4E+01 [y]	Sn-121	1.13 [d]
4	Sn-126	2.3E+05 [y]	Sb-126	12.35 [d]
			Sb-126m	19.15 [m]
5	Sb-125	2.8E+00 [y]	Te-125m	57.40 [d]
6	Cs-137	3.0E+01 [y]	Ba-137m	2.552 [m]
7	Ce-144	7.8E-01 [y]	Pr-144	17.28 [m]
			Pr-144m	7.2 [m]
8	Pu-241	1.4E+01 [y]	U-237	6.752 [d]
9	Am-242m	1.4E+02 [y]	Np238	2.112 [d]
10	Am-242m	1.4E+02 [y]	Am-242	16.02 [h]
			Cm-242	162.8 [d]
11	Am-243	7.4E+03 [y]	Np-239	2.356 [d]

表 1.1.4-7 放射平衡でも親核種と別に挙動していると評価する子孫核種

No.	親核種		子孫核種	
	核種	半減期	核種	半減期
1	Zr-93	1.6E+06 [y]	Nb-93m	1.6E+01 [y]

(2) ウラン，ネプツニウム等の崩壊系列から生成される核種

手順4まで進んだ核種のうち，ウラン，ネプツニウム等の崩壊系列により存在している核種は図 1.1.4-5 の赤枠の通り。これらの核種について，汚染水への移行評価では，大元の親核種（ネプツニウムやウラン）と一緒に挙動しているとみなして評価を行う。



※：核データライブラリ (JENDL4.0) より作成

図 1.1.4-5 ウラン，ネプツニウム等の崩壊系列での生成核種

(3) 同位体

手順4まで進んだ核種のうち、(1)、(2)とは関係なく、同位体で存在する核種を、表 1.1.4-8 に示す。

同位体とは、同じ陽子数を持ち、異なる中性子数を持つ核種のことを指す。なお、物質の化学的性質は最外周の電子で決まることから、同じ電子数を持つ同位体の化学的性質はほとんど同じとなるため、汚染水への移行評価では各同位体は一緒に挙動をするとして評価する。

図 1.1.4-8 同位体のため一緒に挙動していると評価する核種

No.	元素	核種
1	Ni 同位体	Ni-59, Ni-63
2	Nb 同位体	Nb-93m, Nb-94
3	Ag 同位体	Ag-108m, Ag-110m
4	Cd 同位体	Cd-109, Cd-113m
5	Sn 同位体	Sn-119m, Sn-121m, Sn-126
6	Cs 同位体	Cs-134, Cs-135, Cs-137
7	Ce 同位体	Ce-142, Ce-144
8	Pm 同位体	Pm-146, Pm-147
9	Eu 同位体	Eu-152, Eu-154, Eu-155
10	U 同位体	U-232, U-233, U-234, U-235, U-236, U-238
11	Pu 同位体	Pu-236, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242
12	Am 同位体	Am-241, Am-242m, Am-243
13	Cm 同位体	Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246

(4) 水中における性質に類似性がある核種

(1), (2), (3)以外に, 2022 年時点で分析技術が確立しておらず, 個別分析が困難等の理由により, 分析結果がない核種が存在する。これらの核種については, 核種の水中における化学形態 (Eh-pH 図^{*}等を使用) やイオン半径, 水処理における吸着特性等の類似性を確認の上, 類似性が確認された核種と同様の性質を持つとして評価する。

※: Eh-pH 図とは, Eh, pH をそれぞれ縦軸, 横軸にとり, 化学組成を与えた水溶液の溶存卓越化学種と固相種の変化を, Eh 及び pH の関数として図示したものである。なお, 今回は核種の水中での化学的挙動の類似性の確認に使用したものであり, 実際の ALPS 処理水中の溶存形態を本図で示すものではない。

①ランタノイド元素 (Pm, Sm, Ho, Tm)

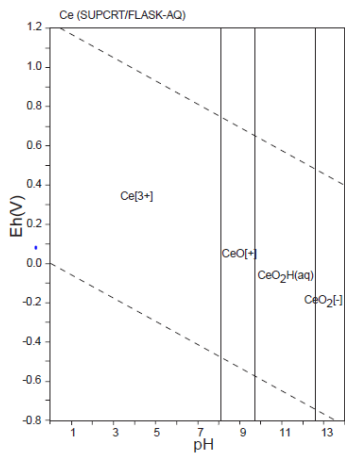
ランタノイド元素については、ALPS 除去対象核種として、Ce-141, Ce-144, Pm-146, Pm-148, Pm-148m, Eu-152, Eu-154, Eu-155, Gd-153, Tb-160 を分析評価しているが、ALPS 処理前後の分析において、これまで検出された実績はない。また、建屋滞留水においても Eu-152, Eu-154 を各々、約 80 回程度分析して検出された実績はないものの、過去の 2, 3 号機の PCV 内部調査にて、採水した PCV 内滞留水を分析した結果、Ce-144 と Eu-154 が検出されている。

今回、この PCV 内で検出された Ce-144 と Eu-154 の結果に基づき、他のランタノイド元素についても汚染水の移行評価を行うことから、Eh-pH 図を用いてその妥当性について確認を行った。

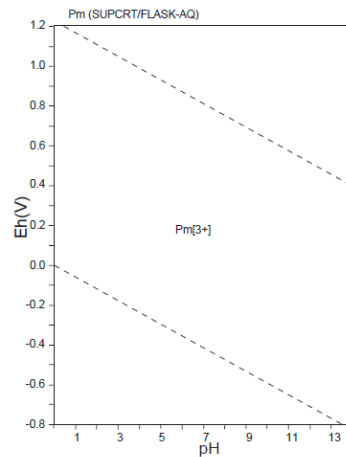
確認した結果、ランタノイド元素は原子炉注水や建屋滞留水における水素イオン指数 (pH) 6~8 において、主に 3 価の陽イオンで安定するという、類似性があることを確認した (図 1.1.4-6 参照)。また、ランタノイドを含む希土類イオンについては、一般的に各々の化学的性質や挙動がよく似ており、鉱物中に共存して産出されること、精錬過程で相互分離が困難なこと等の特性があることから※、ランタノイド元素は全て同じグループとして評価することは妥当であると考えられる。

なお、本グループに属する核種で、分析結果のある Ce-144 と Eu-154 について、後述する 2.4.4 項で移行係数を評価したところ、ほとんど同等の値であり、1F の現場においても、実際に類似した挙動をとることが確認されている。

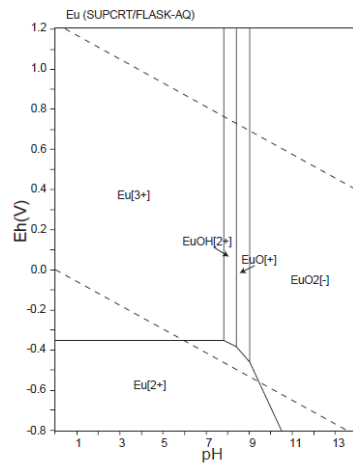
※：塩川 二郎，“希土類元素の特性とその応用”より



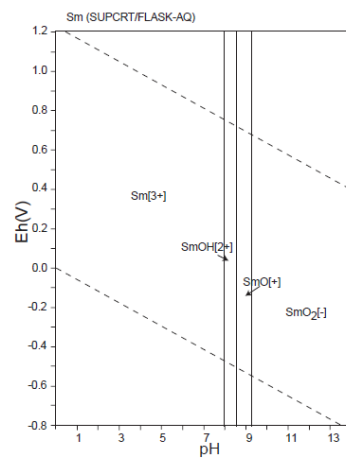
(1) セリウム (Ce)



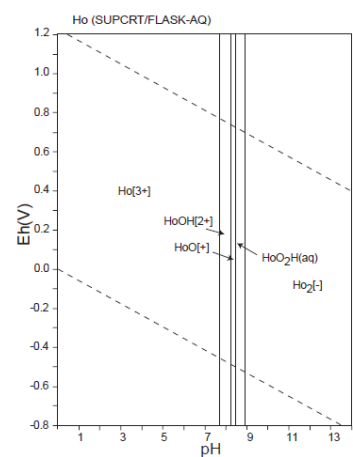
(2) プロメチウム (Pm)



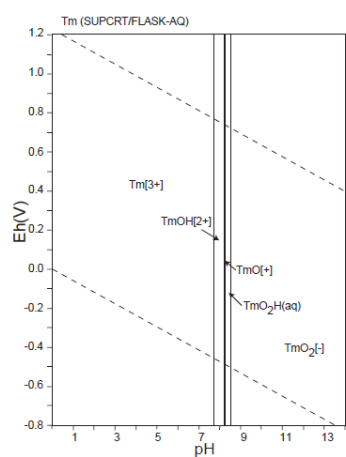
(3) ユロピウム (Eu)



(4) サマリウム (Sm)



(5) ホルミウム (Ho)



(6) ツリウム (Tm)

引用図：竹野直人, Eh-pH アトラス～熱力学データベースの相互比較, 地質調査総合センター研究資料集 No. 419, 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2005)

引用した熱力学データベース：

・ Johnson, J.W., Oelkers, E.H. and Helgeson, H.C., SUPCRT92 - A software package for calculating the standard molal thermodynamic properties of minerals, gases, aqueous species, and reactions from 1-bar to 5000-bar and 0°C to 1000°C. Computer and Geosciences 18, 899-947(1992)

図 1.1.4-6 ランタノイド元素の比較

②白金族 (Ru, Pd, Pt)

白金族については、ALPS 除去対象核種として、Ru-103 (Rh-103m) Ru-106 (Rh-106) を分析評価しており、これまでに Ru-106 (Rh-106) が検出されている (Rh は両者とも Ru からの崩壊で生成)。なお、Ru-106 は ALPS の性能確認等を実施するための代表核種である、主要 7 核種にも選定されている。また、別紙-2 で示した追加分析により、Pd-107 を分析しており、建屋滞留水やストロンチウム処理水において、非常に低濃度で検出されている。他に、Pt-193 が手順 4 まで進んでいるものの、当該核種については個別に測定するための手法が確立されておらず、分析実績がない。

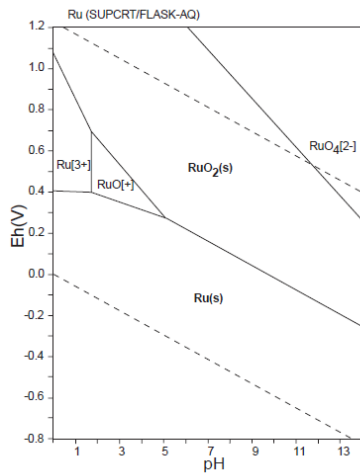
このため、Ru-106 や Pd-107 の分析結果に基づき、Pt の汚染水への移行評価をするに当たって、Eh-pH 図や溶解度を確認してその妥当性の確認を行った。

確認した結果、白金族は原子炉注水や建屋滞留水における水素イオン指数 (pH) 6~8 において、主に固体で存在することを確認 (図 1.1.4-7 参照)。なお、固体の存在形態としては、Ru は金属単体もしくは酸化物の固体、Pd, Pt は金属単体での固体として存在しており、水への溶解度がそれぞれ Ru (単体) : $2.0E-10$ mol/L^{*1}, Ru (酸化物) : $6.0E-10$ mol/L^{*1}, Pd : $1.0E-09$ mol/L^{*2}, Pt : $4.1E-10$ mol/L^{*1} と非常に低いことを確認 (Ru (酸化物) の溶解度は、文献に記載の値をもとに、最も保守的な溶解度である無水化合物の溶解度より算出した)。また、白金族については、一般的に物理的性質や化学的性質が互いによく似ており、水とは反応せず酸や塩基に侵されにくい性質を持つとされることから、今回 Pt-193 は、Ru-106 や Pd-107 と同じグループとして汚染水への移行評価することは妥当であると考え。

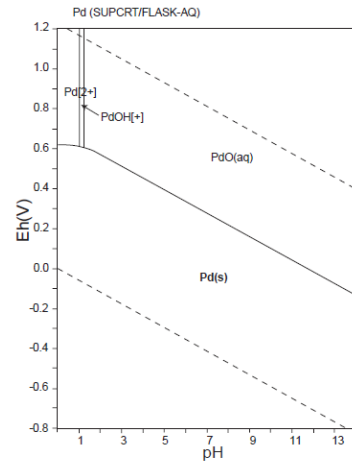
なお、本グループに属する核種で、分析結果のある Ru-106 と Pd-107 について、後述する 2.4.4 項で移行係数を評価したところ、ほとんど同等の値であり、1F の現場においても、実際に類似した挙動をとることが確認されている。

※1 : “The International Platinum Group Metals Association, “Safe Use of Platinum Group Metals in the Workplace”, Chapter 2 PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF PLATINUM GROUP METALS (2017)” より

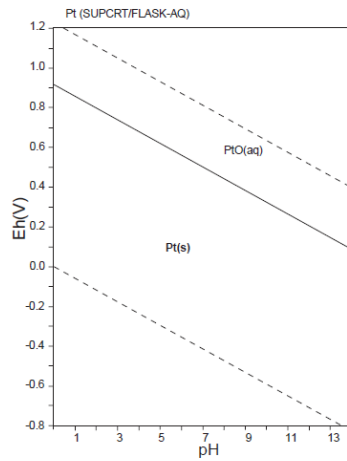
※2 : “わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第 2 次取りまとめ” (2000 年レポート) より



(1) ルテニウム (Ru)



(2) パラジウム (Pd)



(3) 白金 (Pt)

引用図：竹野直人, Eh-pH アトラス～熱力学データベースの相互比較, 地質調査総合センター研究資料集 No. 419, 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2005)

引用した熱力学データベース：

- Johnson, J.W., Oelkers, E.H. and Helgeson, H.C., SUPCRT92 - A software package for calculating the standard molal thermodynamic properties of minerals, gases, aqueous species, and reactions from 1-bar to 5000-bar and 0°C to 1000°C. Computer and Geosciences 18, 899-947(1992)

図 1.1.4-7 白金族の比較

③タリウム (Tl)

タリウムについて、Tl-204 が手順 4 まで進んでいるものの、当該核種については個別に測定するための分析手法が確立されておらず、分析実績がない。ただし、当該核種は主に β 崩壊し、そのエネルギーは約 760keV と高く、ALPS 処理水における全 β 分析の結果と、主要 7 核種に Tc-99 と C-14 を足した結果に乖離がないため、ALPS 処理水には有意な濃度で存在していないと考えられる。

一方、今回汚染水への移行評価に当たって調査した結果、タリウムはアルカリ金属 (Cs) と類似の性質を持つことを確認したことから、Eh-pH 図、イオン半径や水処理における吸着特性にて、その妥当性について説明する。

Eh-pH 図を確認した結果、Tl は第 13 元素ではあるが、原子炉注水や建屋滞留水における水素イオン指数 (pH) 6~8 において、1 価の陽イオンで安定であることを確認 (図 1.1.4-8 参照)。また、Tl イオンについては、その半径が 1.64 Å (6 配位), 1.73 Å (8 配位) であり、アルカリ金属である Cs イオンの半径 1.81 Å (6 配位), 1.81 Å (8 配位), K イオンの半径 1.51 Å (4 配位), 1.52 Å (6 配位), 1.65 Å (8 配位) の中間であり、ゼオライトによる陽イオンの選択性は、アルカリ金属である K イオンと同等と評価されている^{※1}。また、鉱山等で発生する廃液中の Tl イオンは、Cs イオンと同様にフェロシアン化合物、活性炭、チタン酸、粘土鉱物に吸着することが知られている^{※2} 他、土壌に対しても Cs と同等の吸着特性を持つ報告もある^{※3}。

このことから、タリウムはアルカリ金属と同じグループとして、汚染水への移行から水処理まで同様に挙動するとして評価することは妥当であると考えられる。

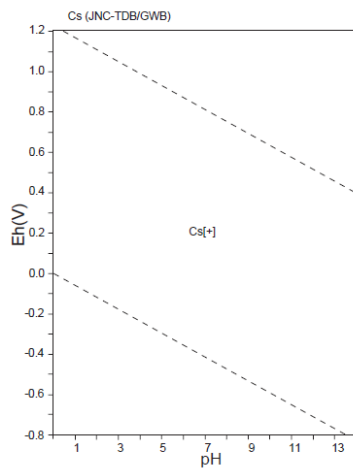
※1：新田，青村，“合成 A 型ゼオライトによる交換カチオンの差異と選択性に関する研究”より

※2：Hariyin Xu, Yuanling Luo, et al. “Removal of thallium in water-wastewater”, 2019-Water Research
Juan Liu, Xuwen Luo, et al. “hassium pollution in China and removal technologies for waters”, 2019-
Environment International

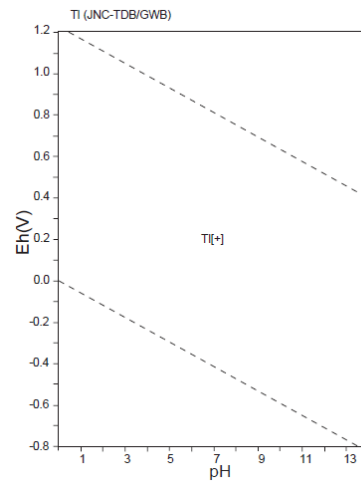
L.G.Twidwell, C. Williams-Beam, “Potential Technologies for Removing Thallium from Mine and Process Wastewater”, Twidwell2002

小林，山元，明石，“放射線事故時におけるセシウム除去としてのプルシアンブルー”より

※3：John E.Till, Helen A.Grogan, "Radiobiological Risk Assessment and Environmental Analysis", Oxford University Press (2008). より



(1) セシウム (Cs)



(2) タリウム (TI)

引用図:竹野直人, Eh-pH アトラス~熱力学データベースの相互比較, 地質調査総合センター研究資料集 No. 419, 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2005)

引用した熱力学データベース:・吉田泰, 油井三和, 地球化学計算コードで利用可能な JNC 熱力学データベース, JNC TN8400 2003-005, 核燃料サイクル開発機構(2003)

・吉田泰, 柴田雅博, OECD/NEA で整備された熱力学データベース利用環境の整備その 2, JNC TN8400 2004-025, 核燃料サイクル開発機構(2005)

図 1.1.4-8 タリウムとセシウムの比較

④カリホルニウム (Cf)

カリホルニウムについて、Cf-250 が手順 4 まで進んでいるものの、分析実績がない。ただし、当該核種は主に α 崩壊し、ALPS 処理水における全 α 分析は不検出であることから、ALPS 処理水に有意な濃度で存在しないと考えられる。

一方、Am, Cm の分析結果に基づき、Cf の汚染水への移行評価をするに当たって、水への溶解形態やイオン半径等を確認してその妥当性の確認を行った。

カリホルニウムについては、Eh-pH 図が確認できなかったものの、水溶液中は 3 価の陽イオンが安定とされている他、3 価の超プルトニウム元素 (Am, Cm) に非常に似通った化学挙動であることを確認^{※1}。また、Am, Cm, Cf の 3 価の陽イオンの半径はそれぞれ、 1.12 \AA (6 配位)、 1.11 \AA (6 配位)、 1.09 \AA (6 配位)^{※2} と、ほぼ同等のイオン半径であることを確認した。

このことから、Cf は Am や Cm と同じグループとして汚染水への移行評価することは妥当であると考えられる。

なお、本グループに属する核種で、分析結果のある Am-241 と Cm-242, Cm-244 について、後述する 2.4.4 項で移行係数を評価したところ、ほとんど同等の値であり、このグループは 1F の現場においても、実際に類似した挙動をとることが確認されている。

※1 : Laster R.Morss, Norman M.Edelstein, Jean Fuger, “The Chemistry of The Actinide And Transactinide Elements_4thEd”

※2 : R.D.Shannon, “Revised Effective Ionic Radii and Systematic Studies of Interatomic Distances in Halides and Chalcogenides”

2.4.3.2 核種のグルーピング結果

2.4.3.1 項で示した核種のグルーピングの考え方に基づいて、手順4で残っている核種をグルーピングした結果は、表 1.1.4-9～表 1.1.4-25 の通り。これらの核種については、ALPS 処理までの過程で同様に挙動するとみなして評価する。なお、(2)項で説明した通り、ウラン、アクチニウム、トリウム系列で生成される核種は、大元のウランと一緒に挙動しているとみなして評価することから、ウラン同位体のサブグループとして評価する。また、ここに示した核種以外はグルーピング出来ないことから、個別に汚染水への移行評価を行う。

グルーピングした核種は、グループの中の最も線量影響の大きい代表核種と比較した上で、代表核種との相対比（インベントリ量/告示濃度限度の比）が 1/100 以下の場合に除外を行う。

また、別紙-3にて補足説明した通り、放射化生成物（AP）のインベントリ評価には保守側の不確かさがあるため、グループ内に核分裂生成物（FP）と AP が混在する場合は、本評価における代表核種は現実的な評価を行っている FP を選定する。これにより、評価の不確かさによって、相対比の評価が非保守的とならないようにする。

表 1.1.4-9 グループ 1 (Ni 同位体)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Ni-59	AP	7.6E+04 [y]	7.3E+13	1.0E+04	0.0052	除外
Ni-63	AP	1.0E+02 [y]	8.5E+15	6.0E+03	1	代表核種

表 1.1.4-10 グループ 2 (Sr-90 放射平衡)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Sr-90	FP	2.9E+01 [y]	3.9E+17	3.0E+01	1	代表核種
Y-90	FP	2.67 [d]	3.9E+17	3.0E+02	0.10	

表 1.1.4-11 グループ 3 (Nb 同位体)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Nb-93m	FP	1.6E+01 [y]	6.3E+12	7.0E+03	1	代表核種
Nb-94	AP	2.0E+04 [y]	9.0E+11	5.0E+02	2	

表 1.1.4-12 グループ 4 (白金族, Ru-106 放射平衡)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Ru-106	FP	1.0E+00 [y]	7.5E+14	1.0E+02	1	代表核種
Rh-106	FP	30.07 [s]	7.6E+14	3.0E+05	0.00033	除外
Pd-107	FP	6.5E+06 [y]	6.1E+11	2.0E+04	0.0000041	除外
Pt-193	AP	5.0E+01 [y]	9.7E+12	3.0E+04	0.000043	除外

表 1.1.4-13 グループ 5 (Ag 同位体)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Ag-108m	AP	4.4E+02 [y]	1.7E+11	4.0E+02	1.5	
Ag-110m	FP	249.8 [d]	8.8E+10	3.0E+02	1	代表核種

表 1.1.4-14 グループ 6 (Cd 同位体)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Cd-109	AP	461.9 [d]	3.6E+10	4.0E+02	0.000044	除外
Cd-113m	FP	1.4E+01 [y]	8.2E+13	4.0E+01	1	代表核種

表 1.1.4-15 グループ 7 (Sn 同位体, Sn-126 放射平衡)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Sn-119m	AP	293.1 [d]	5.9E+10	2.0E+03	0.00065	除外
Sn-121	FP	1.13 [d]	7.1E+13	4.0E+03	0.39	
Sn-121m	FP	4.4E+01 [y]	9.1E+13	2.0E+03	1	代表核種
Sn-126	FP	2.3E+05 [y]	1.6E+12	2.0E+02	0.18	
Sb-126	FP	12.35 [d]	2.3E+11	4.0E+02	0.012	
Sb-126m	FP	19.15 [m]	1.6E+12	2.0E+04	0.0018	除外

表 1.1.4-16 グループ 8 (Sb-125 放射平衡)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Sb-125	FP	2.8E+00 [y]	2.9E+15	8.0E+02	1	代表核種
Te-125m	FP	57.40 [d]	1.1E+15	9.0E+02	0.33	

表 1.1.4-17 グループ 9 (Cs 同位体, Cs-137 放射平衡, Tl-204)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Cs-134	FP+AP	2.1E+00 [y]	2.5E+16	6.0E+01	0.070	
Cs-135	FP	2.3E+06 [y]	3.5E+12	6.0E+02	0.00000099	除外
Cs-137	FP	3.0E+01 [y]	5.3E+17	9.0E+01	1	代表核種
Ba-137m	FP	2.552 [m]	5.0E+17	8.0E+05	0.00011	除外
Tl-204	AP	3.8E+00 [y]	1.4E+13	7.0E+02	0.0000035	除外

表 1.1.4-18 グループ 10 (ランタノイド)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Ce-142	FP	5.0E+16 [y]	1.8E+08	7.0E-01	0.0000083	除外
Ce-144	FP	284.91 [d]	1.7E+14	2.0E+02	0.027	
Pr-144	FP	17.28 [m]	1.7E+14	2.0E+04	0.00027	除外
Pr-144m	FP	7.2 [m]	2.5E+12	4.0E+04	0.000002	除外
Pm-146	FP	5.5E+00 [y]	3.6E+12	9.0E+02	0.00013	除外
Pm-147	FP	2.6E+00 [y]	5.6E+16	3.0E+03	0.59	
Sm-151	FP	9.0E+01 [y]	2.2E+15	8.0E+03	0.0085	※
Eu-152	FP	1.4E+01 [y]	9.0E+12	6.0E+02	0.00048	除外
Eu-154	FP	8.6E+00 [y]	1.3E+16	4.0E+02	1	代表核種
Eu-155	FP	4.8E+00 [y]	3.8E+15	3.0E+03	0.04	
Ho-166m	AP	1.2E+03 [y]	2.6E+10	4.0E+02	0.000002	除外
Tm-171	AP	1.9E+00 [y]	5.3E+12	7.0E+03	0.000024	除外

※：代表核種 Eu-154 より半減期が長く、放出期間中に相対比が 0.01 を上回ることから除外しない

表 1.1.4-19 グループ 11 (U 同位体)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
U-232	FP	6.9E+02 [y]	1.2E+11	3.0E+00	0.06	
U-233	FP	1.6E+05 [y]	4.0E+08	2.0E+01	0.00003	除外
U-234	FP	2.5E+05 [y]	1.4E+13	2.0E+01	1	代表核種
U-235	FP	7.0E+08 [y]	3.7E+11	2.0E+01	0.027	
U-236	FP	2.3E+07 [y]	2.0E+12	2.0E+01	0.15	
U-238	FP	4.5E+09 [y]	3.0E+12	2.0E+01	0.22	

表 1.1.4-20 グループ 11-1 (ウランの崩壊系列)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
U-238	FP	4.5E+09 [y]	3.0E+12	2.0E+01	0.22	
Th-234	FP	24.1 [d]	3.0E+12	2.0E+02	0.022	
U-234	FP	2.5E+05 [y]	1.4E+13	2.0E+01	1	
Th-230	FP+AP	7.5E+04 [y]	2.4E+09	4.0E+00	0.00089	除外

表 1.1.4-21 グループ 11-2 (アクチニウムの崩壊系列)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
U-235	FP	7.0E+08 [y]	3.7E+11	2.0E+01	0.027	
Th-231	FP	25.52 [h]	3.7E+11	2.0E+03	0.00027	除外
Pa-231	FP	3.3E+04 [y]	2.6E+08	1.0E+00	0.00038	除外
Ac-227	FP	2.2E+01 [y]	7.2E+07	8.0E-01	0.00013	除外
Ra-223	FP	11.43 [d]	7.2E+07	5.0E+00	0.000021	除外

表 1.1.4-22 グループ 11-3 (トリウムの崩壊系列)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
U-236	FP	2.3E+07 [y]	2.0E+12	2.0E+01	0.15	
Ra-228	AP	5.8E+00 [y]	1.8E+07	7.0E-01	0.000038	除外
Th-228	FP	1.9E+00 [y]	1.2E+11	9.0E+00	0.019	
Ra-224	FP	3.66 [d]	1.2E+11	9.0E+00	0.019	
Rn-220	FP	55.6 [s]	1.2E+11	4.0E+03	0.000044	除外
Po-216	FP	0.145 [s]	1.2E+11	4.0E+03	0.000044	除外
Pb-212	FP	10.64 [h]	1.2E+11	1.0E+02	0.0017	除外
Bi-212	FP	1.01 [h]	1.2E+11	3.0E+03	0.000058	除外
Po-212	FP	294.7 [ns]	7.6E+10	4.0E+03	0.000028	除外

表 1.1.4-23 グループ 12 (ネプツニウムの崩壊系列)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Np-237	FP	2.1E+06 [y]	1.7E+12	9.0E+00	1	
Pa-233	FP	26.98 [d]	1.7E+12	9.0E+02	0.01	

表 1.1.4-24 グループ 13 (Pu 同位体, Pu-241 放射平衡)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Pu-236	FP	2.9E+00 [y]	1.1E+11	1.0E+01	0.0000027	除外
Pu-238	FP	8.8E+01 [y]	1.6E+16	4.0E+00	1	代表核種
Pu-239	FP	2.4E+04 [y]	2.6E+15	4.0E+00	0.17	
Pu-240	FP	6.6E+03 [y]	3.3E+15	4.0E+00	0.21	
Pu-241	FP	1.4E+01 [y]	4.3E+17	2.0E+02	0.55	
Pu-242	FP	3.7E+05 [y]	1.1E+13	4.0E+00	0.00071	除外
U-237	FP	6.752 [d]	1.1E+13	1.0E+03	0.0000027	除外

表 1.1.4-25 グループ 14 (Am 同位体, Cm 同位体, Am242m/Am-243 放射平衡, Cf-250)

核種	種別	半減期	インベントリ量 (12 年後) [Bq]	告示濃度 限度 [Bq/L]	代表核種との 相対比	評価結果
Am-241	FP	4.3E+02 [y]	1.3E+16	5.0E+00	1	代表核種
Am-242	FP	16.02 [h]	9.0E+13	3.0E+03	0.000011	除外
Am-242m	FP	1.4E+02 [y]	9.0E+13	5.0E+00	0.0069	除外
Am-243	FP	7.4E+03 [y]	8.5E+13	5.0E+00	0.0065	除外
Np-238	FP	2.112 [d]	4.5E+11	9.0E+02	0.00000019	除外
Np-239	FP	2.356 [d]	8.5E+13	1.0E+03	0.000032	除外
Cm-242	FP	162.8 [d]	7.4E+13	6.0E+01	0.00047	除外
Cm-243	FP	2.9E+01 [y]	7.5E+13	6.0E+00	0.0048	除外
Cm-244	FP	1.8E+01 [y]	6.5E+15	7.0E+00	0.35	
Cm-245	FP	8.4E+03 [y]	1.1E+12	5.0E+00	0.000083	除外
Cm-246	FP	4.8E+03 [y]	1.8E+12	5.0E+00	0.000013	除外
Cf-250	FP	1.3E+01[y]	7.1E+07	5.0E+00	0.0000000054	除外

2.4.4 移行係数の評価

2.4.3 項で設定したグループ及び、グルーピング出来なかった個別核種について、図 1.1.4-4 に示した分析結果（同位体の検出値含む）から、2011 年 3 月 11 日のインベントリ評価の結果を使用して移行係数を算出する。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、移行係数は桁上がりで評価する。移行係数を評価した結果を、図 1.1.4-9 に示す。

また、別紙-3 にて補足説明した通り、AP のインベントリ評価には保守側の不確かさがあるため、グループ内に FP と AP が混在する場合は、本評価における代表核種は現実的な評価を行っている FP を選定する。これにより、評価の不確かさによって、移行係数の評価が非保守的とならないようにする。

最初にグループ 1~4 の結果を示すが、これらは各々のグループで概ね似た傾向となっていることを確認。また、グループ 2 (Sr) の隣には、同じアルカリ土類金属であるバリウムの結果を載せているが、FP 核種の Ba-140 は同じ FP 核種の Sr-89 や Sr-90 と同等の移行係数を示すことを確認した。

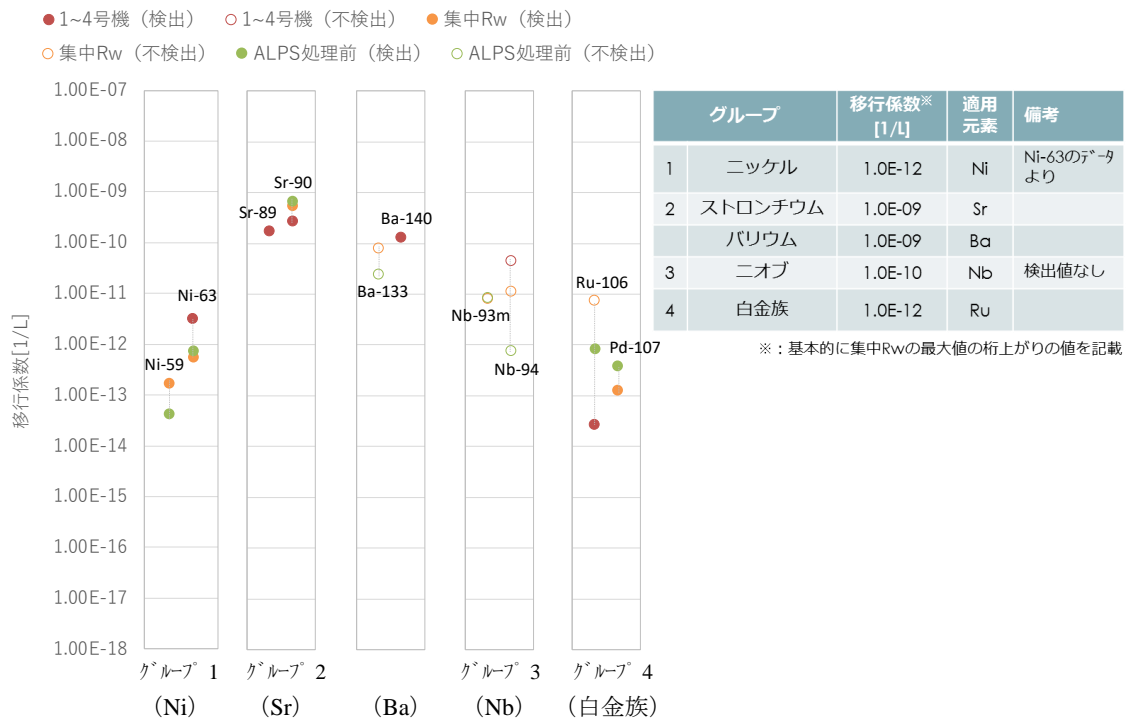


図 1.1.4-9 移行係数 (1/4)

次にグループ 5～9 の結果を示す。

銀，カドミウム，スズについてはこれまでに検出された実績がないことから，検出下限値より移行係数を算出している。アンチモンについては，集中 Rw の検出データ数が 9 個に対して，ALPS 処理前では 1605 個あること，ALPS 処理前の放射能濃度の方が高いことから，同数値を使用して移行係数を算出している。セシウムについては同位体である Cs-134，Cs-137 で概ね同じ挙動を示すことを確認した。

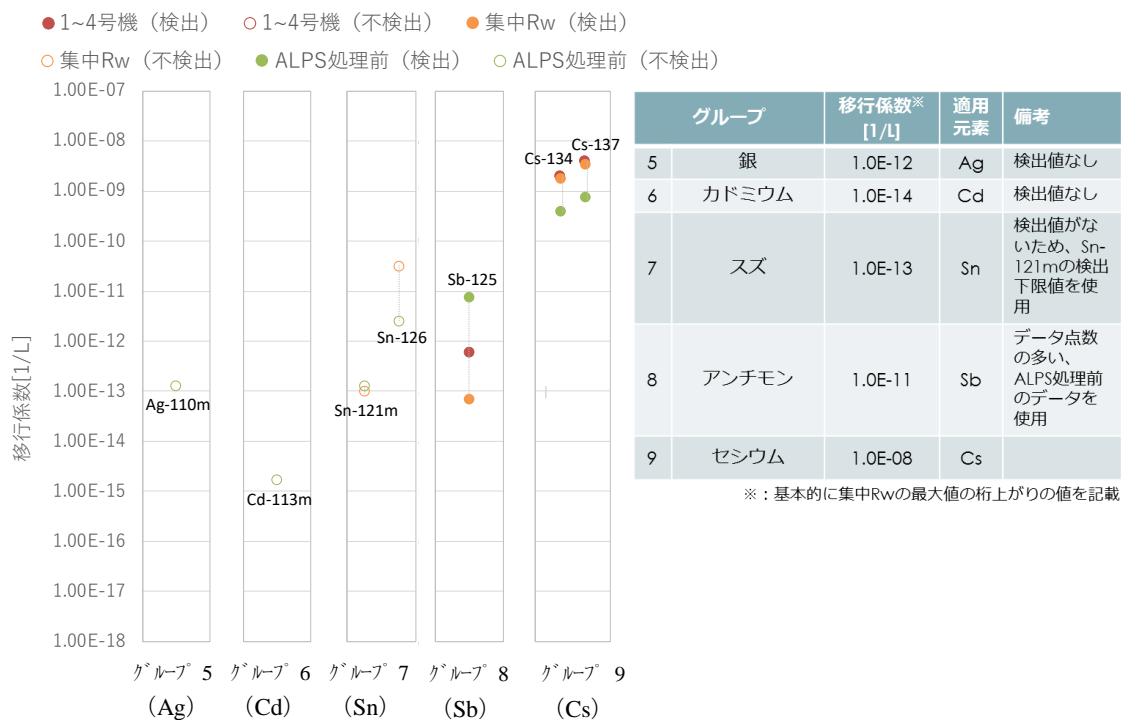
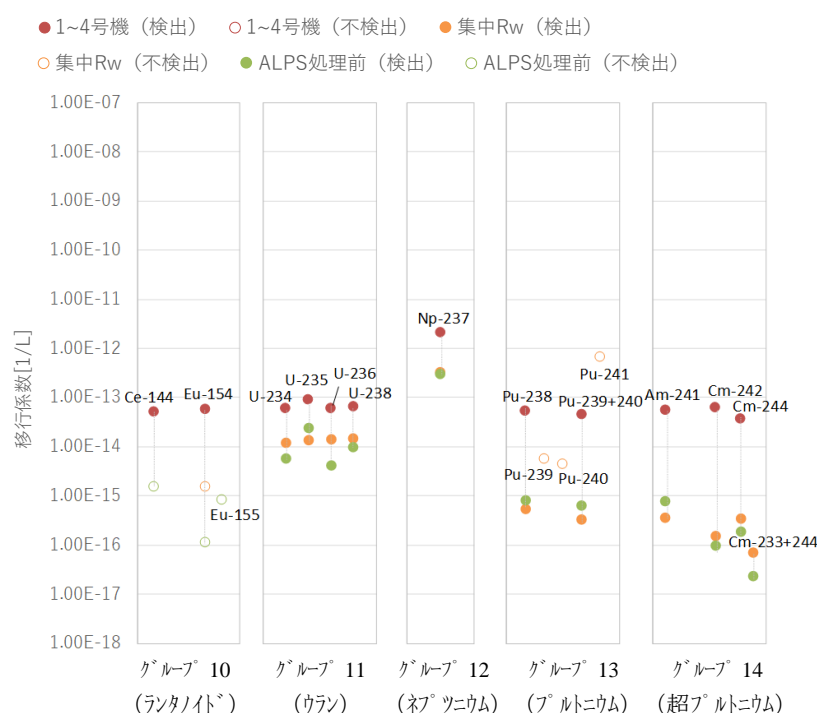


図 1.1.4-9 移行係数 (2/4)

次にグループ 10~13 の結果を示す。

ランタノイドについては文献通り，Ce と Eu で概ね同じ移行挙動をしていることを確認した。また，ウラン，プルトニウム，アメリシウム，キュリウムについても同位体や，グループ内でほとんど同じ挙動をすることを確認した他，ネプツニウムの結果についても載せているが，ネプツニウムは他のアクチノイドに比べて水へ移行しやすいことを確認した。

また，ランタノイドとアクチノイドは1～4号機の建屋滞留水等では，ネプツニウムを除いて，ほとんど同じような移行挙動をしているものの，集中Rw以降は各々のグループで若干異なる挙動をしている。これらの傾向を踏まえて，移行係数を算出している。



グループ	移行係数※ [1/L]	適用 元素	備考
10 ランタノイド	1.0E-13	Ce, Pm, Sm, Eu	集中Rw以降には検出値がないため、過去に検出された(2,3号機PCV内)のCe-144, Eu-154の検出値を使用
11 ウラン	1.0E-13	U	
12 ネプツニウム	1.0E-12	Np	
13 プルトニウム	1.0E-15	Pu	
14 超プルトニウム 元素	1.0E-15	Am, Cm	

※：基本的に集中Rwの最大値の桁上りの値を記載

図 1.1.4-9 移行係数 (3/4)

最後に、グループ핑出来ずに個別に評価した核種について示す。

非金属であるトリチウムやセレン、炭素、ハロゲンのヨウ素については比較的高い移行係数を示すことを確認した。塩素については過去に検出値がないことから、検出下限値より移行係数を算出している。また、遷移金属については、マンガンについて検出値のあるALPS処理前のデータを使用した他、鉄は今回の追加分析で検出された結果を反映している。コバルトは同位体で概ね同じ挙動をしていることを確認した他、亜鉛、ジルコニウム、モリブデンについては、検出値が無いため、検出下限値より移行係数を算出しており、テクネチウムは集中Rwの検出値を用いて移行係数を算出した。

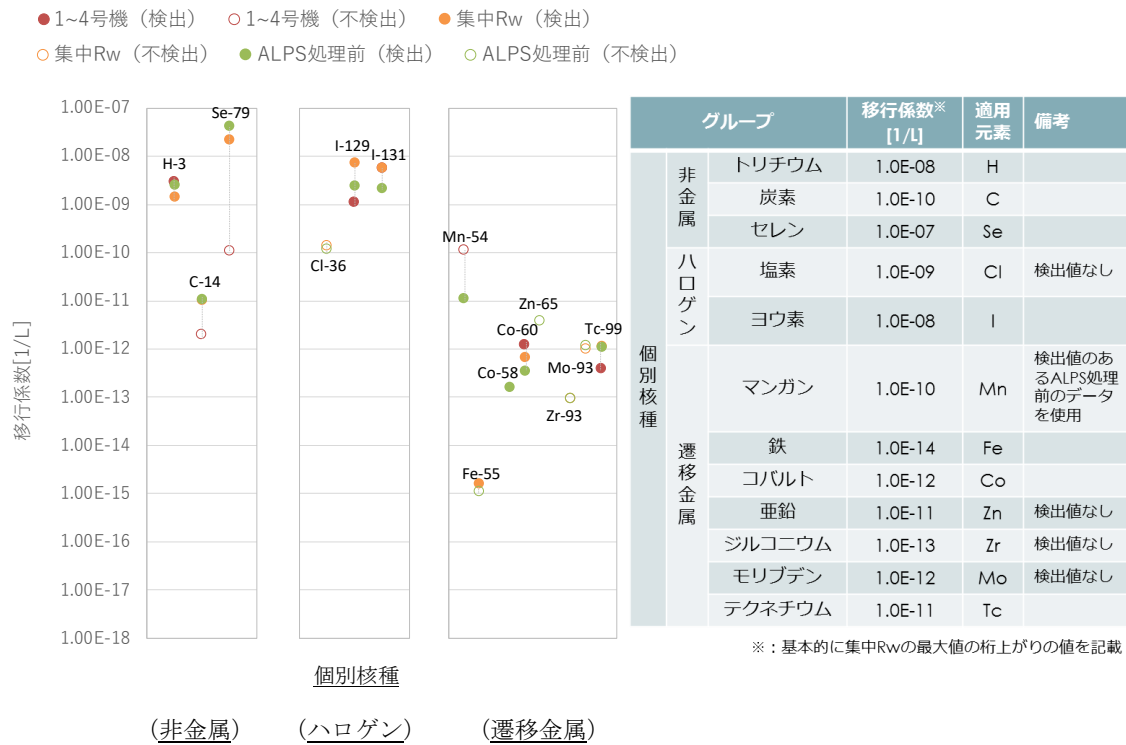


図 1.1.4-9 移行係数 (4/4)

2.4.5 汚染水への移行評価の結果

2.4.4 項で評価した移行係数を用いて、汚染水への移行評価を行った結果、手順 5 に進む核種は 36 核種、除外される核種は 57 核種となる。

表 1.1.4-26 手順 5 に進む核種 (36 核種)

No.	核種	No.	核種	No.	核種	No.	核種	No.	核種
1	H-3	27	Sr-90	60	Sb-125	93	Sm-151	189	Pu-240
3	C-14	29	Y-90	67	Te-125m	96	Eu-154	190	Pu-241
7	Cl-36	33	Nb-93m	70	I-129	97	Eu-155	194	Am-241
16	Mn-54	34	Nb-94	71	Cs-134	174	U-234	201	Cm-244
17	Fe-55	35	Mo-93	73	Cs-137	178	U-238		
18	Co-60	38	Tc-99	74	Ba-133	182	Np-237		
20	Ni-63	39	Ru-106	80	Ce-144	187	Pu-238		
23	Se-79	51	Cd-113m	87	Pm-147	188	Pu-239		

2.5 手順5について

手順5の「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？」という項目では、当該手順まで進んだ核種のうち、過去に告示濃度限度の1/100を目指して分析を行い、その結果で有意（告示濃度限度の1/100以上）に検出されたことがあるか確認したうえで、この基準を上回る核種は次の手順に進み、下回る核種は監視対象核種としている。

手順5の目的は、手順4の汚染水への移行評価では、検出下限値を含めて評価しており、その値を使用したため除外されずに残っている核種や、Fe-55のように汚染水中の濃度が告示濃度限度の1/100未満であり、かつ容易に除去可能な不溶解性で存在することが確認された核種は、ALPS処理水に含まれている可能性は極めて低いと考えられることから、これを放出の都度確認する測定・評価対象核種に選定するのは、非常に保守的と考えていることに因る。一方、これらの核種は手順5まで進んできている（インベントリ量も比較的多い）ことに加えて、半減期も長い核種であることから、現時点では有意な濃度で確認されていないものの、今後の廃炉の進捗によって、この状況が変化する可能性がある。このことから、これらの核種は海洋放出の都度測定せずに、汚染水中に有意に存在しないか継続して確認する監視対象核種として設定する。なお、後述する測定・評価対象核種の定期的な確認の中で分析実績を重ね、その結果を踏まえて、監視対象核種についても、選定フローに基づき、適宜見直しを行う。

今回選定した具体的な監視対象核種は表1.1.4-27の通り。

表 1.1.4-27 監視対象核種

核種	分析数（括弧内は検出数）			分析値 [Bq/L]	告示濃度限度 [Bq/L]
	① 1~4号機	② 集中Rw	③ ALPS処理前		
Cl-36	0 (0)	10 (0)	12 (0)	< 4.3E+00	9.0E+02
Fe-55	0 (0)	1 (1)	1 (0)	1.7E+01	2.0E+03
Nb-93m	0 (0)	1 (0)	1 (0)	< 5.2E+01	7.0E+03
Nb-94	36 (0)	33 (0)	68 (0)	< 6.8E-01	5.0E+02
Mo-93	0 (0)	1 (0)	1 (0)	< 1.4E+00	3.0E+02
Cd-113m	0 (0)	22 (0)	42 (0)	< 1.7E-01	4.0E+01
Ba-133	0 (0)	1 (0)	2 (0)	< 2.6E+00	3.0E+02

なお、6核種中4核種は、分析数が少ないものの、原子炉注水に使用している水は主にRO淡水であり、注水に使用する水質を実施計画Ⅲ章第1編で「40mS/m以下@25℃（これを超える場合、塩化物イオン濃度100ppm以下）」として、これを満足した注水を継続していることから、炉内環境に変化はなく、放射性核種の移行状況に大きな変化が生じる状況ではないことから、今回の選定に問題はないと考えている。

また、他に分析数の少ない核種として、Ni-59, Sn-121m, Zr-93 があるが、Ni-59 と Sn-121m には、ALPS 除去対象となっている同位体 (Ni-63, Sn-126) が存在するため、それらの測定実績や、2.4.3.2 項に示す相対比 (インベントリ量/告示濃度限度の比) も踏まえて測定可否を判断している。また、Zr-93 は、測定方法 (ICP-MS) と半減期 (1.6E+06 年) が長いことから、建屋滞留水と Sr 処理水の 2 試料、ALPS 処理水の 3 試料で、告示濃度限度の約 1/1000 まで測定を行うことが出来、その結果、不検出であったことから、ほとんど汚染水へ移行していないと考え、更なる測定は不要と判断した。

なお、Eu-155, Pu-241 について検出値がないものの、監視対象核種とせずに測定・評価対象核種としているが、それぞれの考え方は下表の通り。

表 1.1.4-28 検出値がないものの、監視対象としなかった核種

核種	手順 4			告示濃度 [Bq/L]	選定理由
	採取場所	採取日	実測値 [Bq/L]		
Eu-155	ALPS 入口	2021/10/28	<5.3E+00	3.0E+03	Eu-155 は ALPS 入口のみの測定で、当該箇所では検出されていないものの、同位体である Eu-154 が 3 号機の PCV 内で確認されており、その濃度が 1.9E+03 Bq/L であった。その際、Eu-155 は未測定であったが、Eu-155 濃度を評価すると、5.7E+02Bq/L (Eu-154 の 0.3 倍 [*]) と評価されるため、告示濃度限度の 1/100 を上回るため選定した。
Pu-241	PMB	2011/11/1	<1.7E+05	2.0E+02	Pu-241 は 99.998% β 崩壊し、そのエネルギーも 20keV と小さいので、1 度の測定に留まっている (<1.7E+05Bq/L)。ただし、同位体である Pu-238 の分析結果 (9.3Bq/L) から、220Bq/L (Pu-238 の約 27 倍 [*]) と評価されるため、告示濃度限度の 1/100 を上回るため選定した。

※：震災後 12 年後のインベントリ比より算出

一方、手順5は、手順4とは異なり、実際の状態の確認であることから、将来の下流側への移行も想定して、保守的に1～4号機の建屋滞留水までを確認対象とした。このため、手順4で汚染水への移行評価に使用した集中Rwより下流では告示濃度限度の1/100以上で検出されていないものの、測定・評価対象核種とした核種があるが、それぞれの条件は表1.1.4-29の通り。

表 1.1.4-29 集中Rwより下流では告示濃度限度の1/100以上で検出されなかったものの測定・評価対象核種とした核種

核種	手順4			手順5			告示濃度 [Bq/L]	備考
	採取場所	採取日	実測値 [Bq/L]	採取場所	採取日	実測値 [Bq/L]		
U-234	PMB	2014/8/5	1.3E-01	1~4号機	2015/10/22	7.7E-01	2.0E+01	手順5の採取箇所は3号機PCV内
U-238	PMB	2018/12/20	4.5E-02	1~4号機	2021/7/8	2.0E-01	2.0E+01	手順5の採取箇所は3号機MSIV室

2.6 選定結果

図 1.1.4-1 に示したフローに基づき，測定・評価対象核種の選定した核種は表 1.1.4-30 の通り 28 核種となる。これら核種について，現在計画している定量方法についても併せて示す。なお，海洋放出前には下表の 28 核種と合わせて，希釈倍率を設定するために H-3 濃度を測定する計画である。

表 1.1.4-30 測定・評価対象核種とその定量方法

No.	核種	定量方法	No.	核種	定量方法
1	C-14	化学分離後， β 線測定	15	Ce-144	γ 線核種分析
2	Mn-54	γ 線核種分析	16	Pm-147	代表核種 (Eu-154) の放射能濃度より評価
3	Co-60	γ 線核種分析	17	Sm-151	
4	Ni-63	化学分離後， β 線測定	18	Eu-154	γ 線核種分析
5	Se-79	化学分離後， β 線測定	19	Eu-155	γ 線核種分析
6	Sr-90	化学分離後， β 線測定	20	U-234	全 α 放射能に包含されるものとして評価
7	Y-90	Sr-90 と放射平衡	21	U-238	
8	Tc-99	ICP-MS 測定	22	Np-237	
9	Ru-106	γ 線核種分析	23	Pu-238	
10	Sb-125	γ 線核種分析	24	Pu-239	
11	Te-125m	Sb-125 と放射平衡	25	Pu-240	
12	I-129	ICP-MS 測定	26	Pu-241	代表核種 (Pu-238) の放射能濃度より評価
13	Cs-134	γ 線核種分析	27	Am-241	全 α 放射能に包含されるものとして評価
14	Cs-137	γ 線核種分析	28	Cm-244	

3. 測定・評価対象核種の定期的な確認

2項で選定した測定・評価対象核種は、過去の分析結果に基づき選定しているが、今後の廃炉作業の進捗によって、その状況に変化が生じる可能性が考えられる。このため、選定した測定・評価対象核種以外の核種（以下「その他核種」という。）が有意に存在しないことを、以下の方法により確認する。この確認の中で、その他核種が有意に存在することが確認された場合は、測定・評価対象核種の再評価を行う。後述する、3.3項の調査分析が少なくとも1年に1回実施されることから、当該頻度で再評価の要否を確認する。なお、放射性核種の減衰についても、再評価をする中で選定フローに基づき反映する。

3.1 放出の都度の確認

海洋放出前に放出基準を満足しているか確認する際、下表の測定で、その他核種が有意に存在しないことを確認する。

表 1.1.4-31 放出の都度の確認方法

線種	確認方法
α 核種	告示濃度限度（4Bq/L）の 1/100 オーダ以下の検出限界値未満であることを全 α の値で確認する
β 核種	測定・評価対象とした核種以外が有意な濃度で存在していないことを全 β の値で確認する
γ 核種	Ge 半導体検出器の γ 線スペクトルにて、測定・評価対象核種以外に汚染水由来の有意なピークがないことを確認する

3.2 汚染水中のトレンド確認

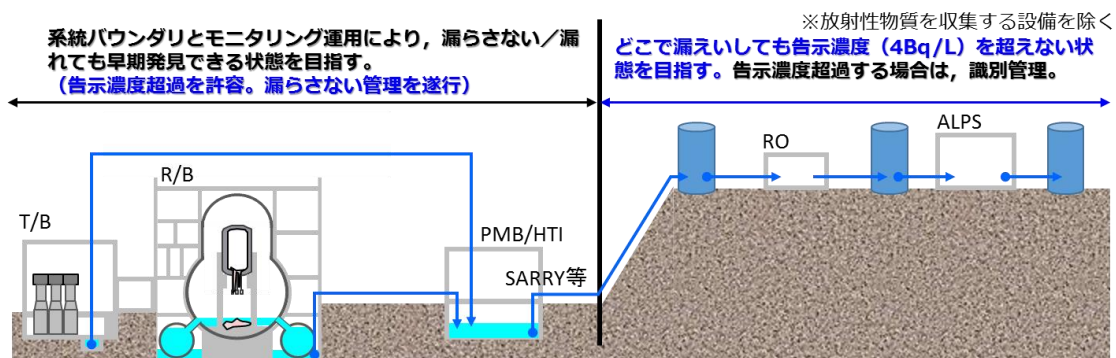
集中 Rw 以降において、設備運転中に 1 回/月以上の頻度で定期的に確認している汚染水中の放射性核種の濃度*が、過去に確認された濃度以下であることを確認し、放射性核種の汚染水への移行状況に変化が生じないことを確認する。

※：2022 年 11 月時点で集中 Rw では Cs-134, Cs-137, Sr-90, 全 β , 全 α , H-3 濃度を確認
ALPS 入口では主要 7 核種, Tc-99, 全 β , 全 α , H-3 濃度を確認

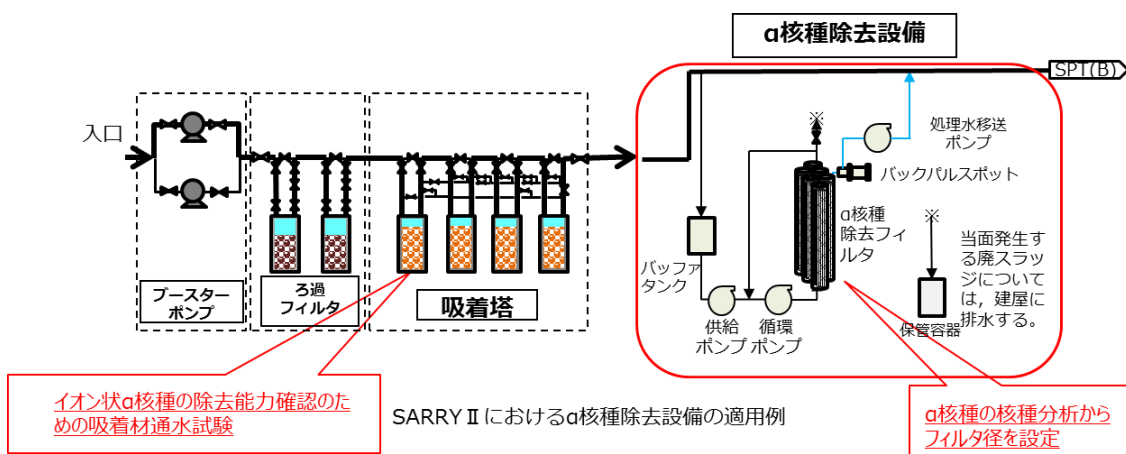
この確認の目的として、廃炉の進捗により、これまでの放射性核種の水への移行状況に変化が起こる可能性が考えられるが、同状況が変化した場合、単独の核種のみが変化することは考え難く、現在、定期的に測定している核種も含めて変化が生じることが考えられることから、本確認を実施する。なお、汚染水への移行状況の変化を確認する際は、1 回の放射性核種の分析結果から判断するのではなく、複数回の分析結果や、類似の性質を持つ核種の分析結果の確認の上で、変化の有無について判断する。

また、建屋滞留水の処理の進捗に伴い、 α 核種の濃度上昇が見られているが、現在、33.5m 盤においては α 汚染管理が要らない状態を目指して、Cs 吸着装置の後段に α 核種除去設備の設置を計画中であることから（図 1.1.4-10 参照）、集中 Rw の建屋滞留水の α 核種の濃度

が上昇したとしても、直接、ALPS 処理水の海洋放出時の測定・評価対象核種へ影響することは考え難い。このことから、集中 R/w の建屋滞留水は参考として確認するものの、本確認において、主に確認するのは ALPS 処理前の汚染水の放射能濃度とする。



a. 1Fにおけるα核種管理の目指すべき状態



b. 目指すべき状態となるための対策（α核種除去設備）

図 1.1.4-10 1Fにおけるα核種管理の目指すべき状態とその対策

3.3 調査分析

調査分析では、3.1、3.2 項で懸念が有る事象を確認した場合に、その他核種の存在を調査する。懸念が無い場合であっても、ALPS 処理前の汚染水において、監視対象核種が有意な濃度で存在しないことの確認を1年に1回の頻度で行い、その他核種の存在を調査する。なお、汚染水への放射性核種の移行状況が変化することが想定される燃料デブリ取り出し等の作業や、水処理設備の設備改造は、2021年度の廃炉中長期実行プランの計画を踏まえると、上記頻度で確認することが可能と考えている他、仮にそれらの計画が実施される場合は、当該作業や設備改造に合わせて調査分析を計画するなど対応を行う。

以上

汚染水への移行評価で使用した分析結果の詳細について

手順 4 では、手順 4 まで進んだ核種を可能な範囲でグループ化した後、実際の分析結果を使用して“汚染水への移行評価”を行い、線量評価に与える影響が十分小さいか（告示濃度限度 1/100 以下）を確認したうえで、線量評価に与える影響が十分小さい核種について、当該手順で除外している。

本資料では、汚染水への移行評価で使用した分析データを表 1.1.4-32 に、採取箇所の詳細を図 1.1.4-11 に示す。合わせて、表 1.1.4-32 の分析で使用した分析装置の性能が維持されていることを確認するための実施している日常点検方法を表 1.1.4-33、表 1.1.4-34 に示す。

表 1.1.4-32 移行評価に使用した分析データ (1/4)

核種	告示濃度限度 [Bq/L]	データ数 ^{※1} (うち検出数)	試料の 状態	採取 箇所 ^{※2}	採取 方法 ^{※2}	試料量 [ml]	測定 時間[s]	採取日	基準日	分析値 ^{※3} [Bq/L]	測定機器
H-3	6.0E+04	362 (362)	—	②-1	定例	50	不明	2011/8/30	2012/10/26	4.3E+06	液体シンチレーション計数装置
C-14	2.0E+03	47 (16)	—	②-1	定例	50	不明	2015/3/3	2011/3/11	2.6E+02	液体シンチレーション計数装置
Cl-36	9.0E+02	22 (0)	—	②-1	定例	10	10,000	2022/2/4	2022/5/23	< 4.3E+00	β線スペクトロメータ
Mn-54	1.0E+03	1197 (290)	—	③-2	定例	不明	不明	2012/6/19	2012/6/19	1.1E+05	Ge 半導体検出器
Fe-55	2.0E+03	2 (1)	—	②-1	定例	31 ^{※4}	80,000 ^{※4}	2021/11/2	2022/9/5 ^{※4}	1.7E+01 ^{※4}	低エネルギー光子測定装置
Co-58	1.0E+03	27 (5)	—	③-1	定例	不明	不明	2011/11/1	2011/11/1	2.0E+03	Ge 半導体検出器
Co-60	2.0E+02	1646 (1450)	ろ液	②-1	非定例	50	不明	2018/12/20	2011/3/11	1.2E+05	Ge 半導体検出器
Ni-59	1.0E+04	15 (2)	—	②-1	定例	100 ^{※5} 31 ^{※5}	80,000 ^{※5} 80,000 ^{※5}	2021/11/2	2022/7/26 ^{※5} 2022/9/8 ^{※5}	9.4E+00 ^{※5} 3.5E+00 ^{※5}	低エネルギー光子測定装置
Ni-63	6.0E+03	123 (74)	ろ液	②-1	非定例	50	不明	2018/12/20	2011/3/11	5.2E+03	液体シンチレーションカウンタ
Zn-65	2.0E+02	22 (0)	—	③-2	定例	500	1,000	2016/6/24	2016/6/24	< 1.6E+01	Ge 半導体検出器
Se-79	2.0E+02	72 (21)	—	②-1	定例	5	不明	2011/11/8	2012/1/19	8.3E+03	液体シンチレーションカウンタ

※1：表 1.1.4-5 の No.①～③の分析データの合計を示す

※2：図 1.1.4-11 にて詳細を示す

※3：検出値の場合は最大値，検出下限値の場合は最小値を記載

※4：残渣のみ検出していることから，残渣を溶解し，分析を実施した際の条件を記載

※5：ろ液，残渣試料ともに検出されたため，上段にろ液，下段に残渣の分析詳細を記載

表 1.1.4-32 移行評価に使用した分析データ (2/4)

核種	告示濃度限度 [Bq/L]	データ数 ^{*1} (うち検出数)	試料の 状態	採取 箇所 ^{*2}	採取 方法 ^{*2}	試料量 [ml]	測定 時間[s]	採取日	基準日	分析値 ^{*3} [Bq/L]	測定機器
Sr-89	3.0E+02	70 (3 ^{*4})	—	①-3	非定例	不明	不明	2011/3/27	2011/4/13	7.0E+08	β線スペクトロメータ
Sr-90	3.0E+01	922 (910)	—	②-1	定例	5	不明	2011/11/1	2012/1/19	2.9E+08	β線スペクトロメータ
Zr-93	1.0E+03	2 (0)	—	②-1	定例	1 ^{*5}	— ^{*7}	2022/2/4	2022/6/7 ^{*5}	< 1.3E+00 ^{*5}	誘導結合プラズマ質量分析装置
Nb-93m	7.0E+03	2 (0)	—	②-1	定例	100 ^{*6}	100,000 ^{*6}	2021/11/2	2022/7/21 ^{*6}	< 5.2E+01 ^{*6}	低エネルギー光子測定装置
Nb-94	5.0E+02	137 (0)	—	③-2	定例	500	25,000	2022/11/24	2022/11/24	< 6.8E-01	Ge 半導体検出器
Mo-93	3.0E+02	2 (0)	—	②-1	定例	31 ^{*5}	80,000 ^{*5}	2021/11/2	2022/9/7 ^{*5}	< 1.4E+00 ^{*5}	低エネルギー光子測定装置
Tc-99	1.0E+03	269 (231)	ろ液	②-1	非定例	50	— ^{*7}	2018/12/20	2011/3/11	1.1E+02	誘導結合プラズマ質量分析装置
Ru-106	1.0E+02	1264 (975)	—	③-2	定例	500	1,000	2014/10/31	2014/10/31	1.2E+05	Ge 半導体検出器
Pd-107	2.0E+04	2 (2)	ろ液	②-1	非定例	1	— ^{*7}	2022/4/21	2022/10/6	7.8E-02	誘導結合プラズマ質量分析装置
Ag-110m	3.0E+02	22 (0)	—	③-2	定例	500	1,000	2016/6/24	2016/6/24	< 1.0E+01	Ge 半導体検出器
Cd-113m	4.0E+01	22 (0)	—	③-2	定例	100	36,000	2018/6/14	2018/6/14	< 1.7E-01	液体シンチレーションカウンタ
Sn-121m	2.0E+03	2 (0)	—	②-1	定例	100 ^{*6}	400,000 ^{*6}	2021/11/2	2022/7/28 ^{*6}	< 9.2E+00 ^{*6}	低エネルギー光子測定装置
Sn-126	2.0E+02	36 (0)	—	③-2	定例	500	25,000	2022/11/24	2022/11/24	< 3.9E+00	Ge 半導体検出器

※1：表 1.1.4-5 の No.①～③の分析データの合計を示す

※2：図 1.1.4-11 にて詳細を示す

※3：検出値の場合は最大値，検出下限値の場合は最小値を記載

※4：2013年～2014年の既設 ALPS の検出（17回）は疑似検出であるため対象外としている

※5：ろ液，残渣試料とも不検出であったため，値の大きいろ液の分析に供した試料量を記載

※6：ろ液，残渣試料とも不検出であったため，値の大きい残渣の分析に供した試料量を記載

※7：誘導結合プラズマ質量分析装置での測定のため，測定時間は分析値に寄与しない

表 1.1.4-32 移行評価に使用した分析データ (3/4)

核種	告示濃度限度 [Bq/L]	データ数 ^{※1} (うち検出数)	試料の 状態	採取 箇所 ^{※2}	採取 方法 ^{※2}	試料量 [ml]	測定 時間[s]	採取日	基準日	分析値 ^{※3} [Bq/L]	測定機器
Sb-125	8.0E+02	1656 (1624)	—	③-2	定例	500	1000	2015/3/25	2015/3/25	4.3E+05	Ge 半導体検出器
I-129	9.0E+00	502 (395)	—	②-1	定例	30	不明	2011/11/8	2013/6/27	1.2E+03	液体シンチレーションカウンタ
I-131	4.0E+01	63 (24)	—	②-1	定例	不明	不明	2011/6/17	2011/6/17	6.9E+03	Ge 半導体検出器
Cs-134	6.0E+01	1953 (1712)	—	②-1	定例	不明	不明	2011/6/26	2011/6/26	2.2E+09	Ge 半導体検出器
Cs-137	9.0E+01	2266 (2220)	—	②-1	定例	不明	不明	2011/6/26	2011/6/26	2.4E+09	Ge 半導体検出器
Ba-133	5.0E+02	3 (0)	ろ液	②-1	定例	100	5,000	2022/2/4	2022/6/2	< 2.6E+00	Ge 半導体検出器
Ba-140	3.0E+02	26 (2)	—	①-3	非定例	不明	不明	2011/3/27	2011/4/13	2.4E+08	Ge 半導体検出器
Ce-144	2.0E+02	25 (3)	—	①-1	非定例	不明	不明	2013/8/7	2011/3/11	3.7E+05	Ge 半導体検出器
Eu-154	4.0E+02	188 (2)	—	①-2	非定例	不明	不明	2015/10/23	2011/3/11	1.9E+03	Ge 半導体検出器
U-234	2.0E+01	66 (25)	—	②-1	定例	100 ^{※4} 43 ^{※4}	— ^{※5}	2021/11/2	2022/7/14 ^{※4} 2022/9/27 ^{※4}	1.3E-01 ^{※4} 2.8E-02 ^{※4}	誘導結合プラズマ質量分析装置
U-235	2.0E+01	89 (47)	ろ液	②-1	非定例	50	— ^{※5}	2018/12/21	2011/3/11	4.9E-03	誘導結合プラズマ質量分析装置
U-236	2.0E+01	61 (27)	ろ液	②-1	非定例	50	— ^{※5}	2018/12/21	2011/3/11	2.8E-02	誘導結合プラズマ質量分析装置
U-238	2.0E+01	94 (63)	ろ液	②-1	非定例	50	— ^{※5}	2018/12/21	2011/3/11	4.5E-02	誘導結合プラズマ質量分析装置
Np-237	9.0E+00	38 (25)	—	②-1	定例	50	— ^{※5}	2013/8/13	2011/3/11	5.3E-01	誘導結合プラズマ質量分析装置

※1：表 1.1.4-5 の No.①～③の分析データの合計を示す

※2：図 1.1.4-11 にて詳細を示す

※3：検出値の場合は最大値，検出下限値の場合は最小値を記載

※4：ろ液，残渣試料ともに検出されたため，上段にろ液，下段に残渣の分析詳細を記載

※5：誘導結合プラズマ質量分析装置での測定のため，測定時間は分析値に寄与しない

表 1.1.4-32 移行評価に使用した分析データ (4/4)

核種	告示濃度限度 [Bq/L]	データ数 ^{※1} (うち検出数)	試料の 状態	採取 箇所 ^{※2}	採取 方法 ^{※2}	試料量 [ml]	測定 時間[s]	採取日	基準日	分析値 ^{※3} [Bq/L]	測定機器
Pu-238	4.0E+00	148 (55)	—	②-1	定例	10	不明	2018/2/20	2011/3/11	9.3E+00 ^{※6}	表面障壁型Si半導体検出器
Pu-239+240	8.0E+00	147 (34)	—	②-1	定例	10	不明	2018/2/20	2011/3/11	2.0E+00	表面障壁型 Si 半導体検出器
Am-241	5.0E+00	136 (20)	—	②-1	定例	10	不明	2018/2/20	2011/3/11	3.4E+00 ^{※6}	表面障壁型 Si 半導体検出器
Cm-242	6.0E+01	10 (4)	—	②-1	定例	15 ^{※4}	50,000 ^{※4}	2021/11/2	2022/6/28 ^{※4}	9.9E-03 ^{※4}	表面障壁型Si半導体検出器
Cm-244	7.0E+00	134 (15)	—	②-1	定例	10	不明	2018/2/20	2011/3/11	3.5E+00	表面障壁型 Si 半導体検出器
Cm-243+244	1.3E+01	2 (2)	—	②-1	定例	500 ^{※5} 15 ^{※5}	50,000 ^{※5} 50,000 ^{※5}	2021/11/2	2022/6/28 ^{※5} 2022/7/4 ^{※5}	2.7E-02 ^{※5} 4.4E-01 ^{※5}	表面障壁型 Si 半導体検出器

※1：表 1.1.4-5 の No.①～③の分析データの合計を示す

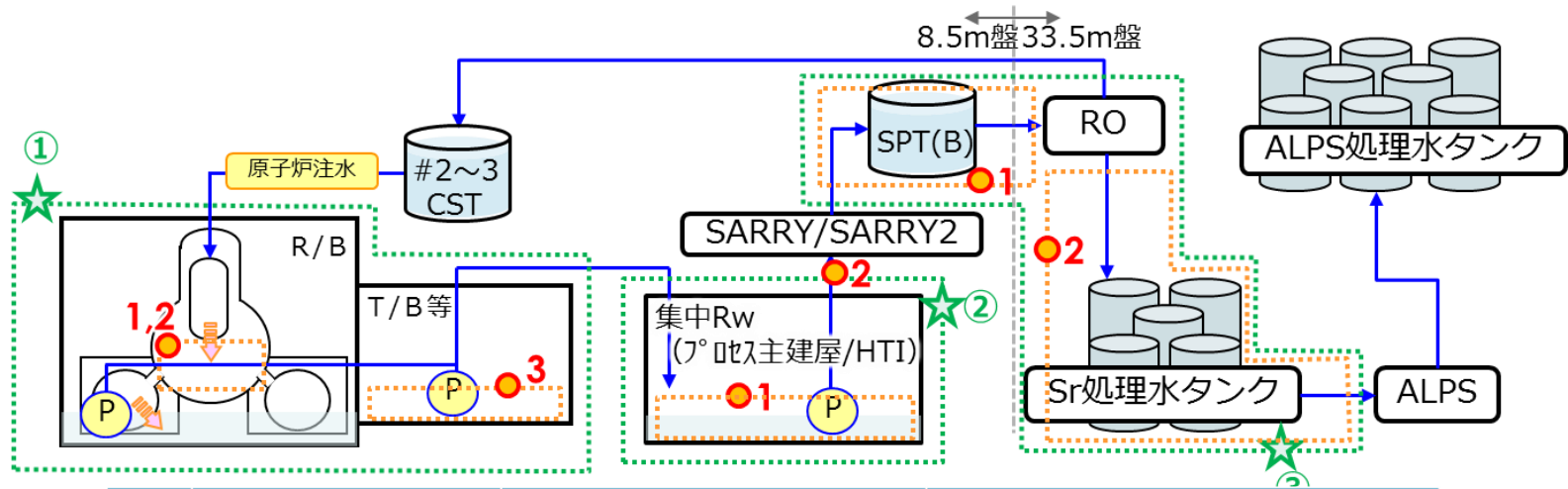
※2：図 1.1.4-11 にて詳細を示す

※3：検出値の場合は最大値，検出下限値の場合は最小値を記載

※4：残渣のみ検出していることから，残渣を溶解し，分析を実施した際の条件を記載

※5：ろ液，残渣試料ともに検出されたため，上段にろ液，下段に残渣の分析詳細を記載

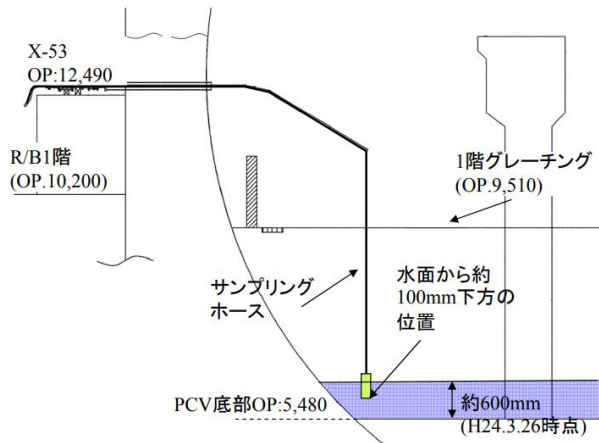
※6：FRAnDLi のデータは分析値から 2011/3/11 の基準日へ単純な減衰補正をしているものの，これら核種は親核種からも生成されることから，今回の検討の中で親核種から生成を考慮した減衰補正を実施



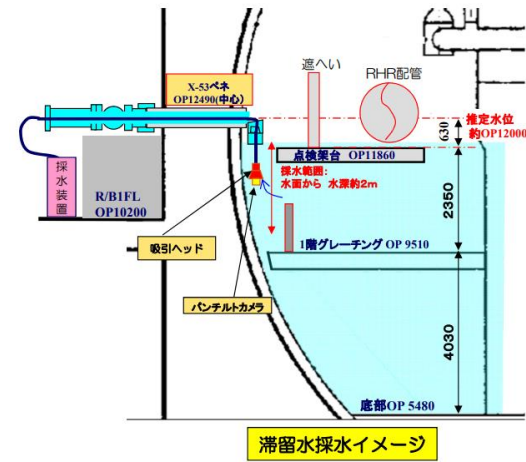
No.	評価元の分析結果	評価に使用した採取箇所	採取方法
①	建屋滞留水@1~4号機	1 2号機PCV	採水器による採取 ⇒(2)参照
		2 3号機PCV	
		3 2号機T/B	
②	建屋滞留水@集中Rw	1 プロセス主建屋/HTI	採水ポンプもしくは採水器による採取 ⇒(3)参照
		2 セシウム吸着装置入口	
③	ALPS処理前	1 セシウム吸着装置/除染装置出口 ～淡水化装置入口	サンプリングラインから採取
		2 淡水化装置出口～ALPS入口まで (蒸発濃縮装置入口※含む)	サンプリングラインから採取

(1) 汚染水のサンプリング箇所一覧

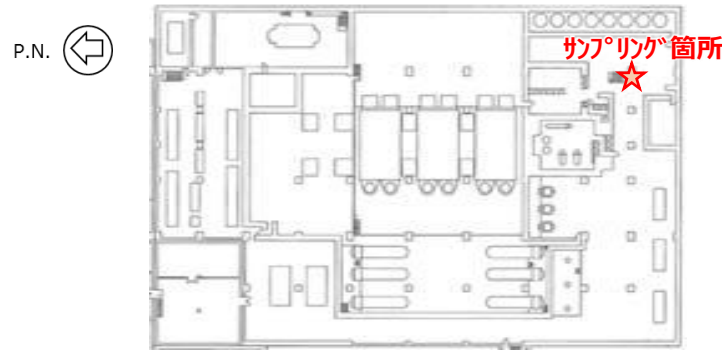
図 1.1.4-11 試料採取箇所と採取方法 (1/3)



2号機 PCV 内滞留水のサンプリング【非定例】(2013年)



3号機 PCV 内滞留水のサンプリング【非定例】(2015年)

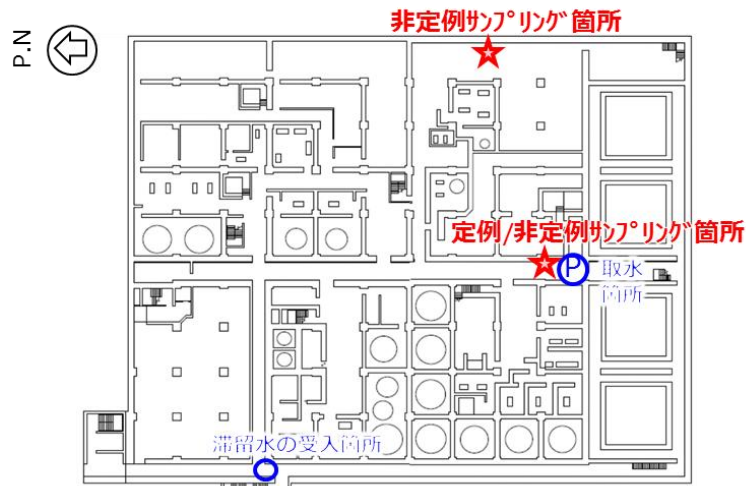


2号機 T/B 滞留水のサンプリング【非定例】(2011年)

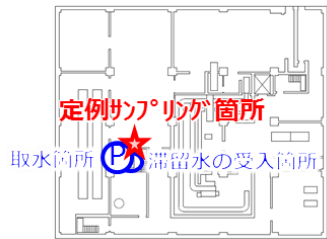
※：記録はないものの、震災当時のため採水器によるサンプリングと想定

(2) 1～4号機のサンプリング方法

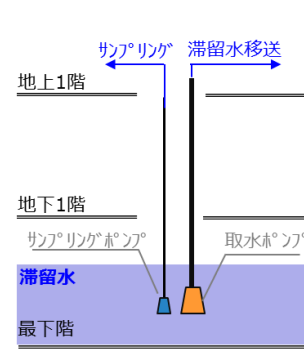
図 1.1.4-11 試料採取箇所と採取方法 (2/3)



PMB最下階平面図

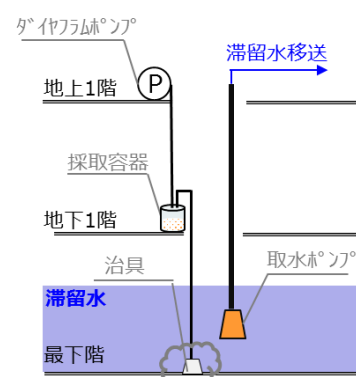


HTI最下階平面図



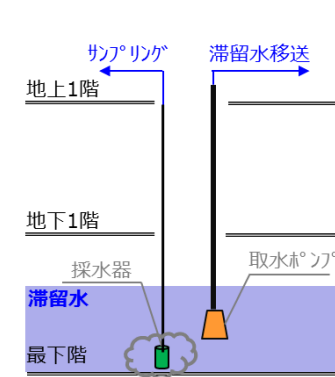
a. 定例サンプリング

取水ポンプの吸い込み高さを合わせて設置したサンプリングポンプで採水



b. 非定例サンプリング①

プロセス主建屋の床面スラッジ回収時に一緒に吸引した滞留水を分析
(2018年 Co-60, Ni-63, Tc-99, U-235, U-236, U-238)



b. 非定例サンプリング②

採水時に建屋底部に沈んでいるスラッジを巻き上げた試料を採取
(2022年 Pd-107)

(3) プロセス主建屋と高温焼却炉建屋のサンプリング方法

図 1.1.4-11 試料採取箇所と採取方法 (3/3)

表 1.1.4-33 測定機器の信頼性確認方法 (1F 構内施設における分析結果)

測定機器	標準線源	信頼性確認方法	
		頻度	方法
Ge 半導体検出器	Co-57, Ba-133, Cs-137 Mn-54, Co-60	日々の作業開始時	標準線源のエネルギー毎に検出効率を求め、判定値以内 (±10%) を確認
液体シンチレーション計数装置	H-3		

表 1.1.4-34 測定機器の信頼性確認方法（社外分析結果）

測定機器	標準線源	信頼性確認方法	
		頻度	方法
Ge 半導体検出器	Am-241, Cd-109, Co-57, Ce-139, Hg-203, Sn-113, Sr-85, Cs-137, Y-88, Co-60	使用の都度	バックグラウンドを測定し、測定値が判定値以内 (3σ) であることを確認
	Eu-152	(確認中)	(確認中)
液体シンチレーション計数装置	H-3, C-14	使用の都度	校正用線源を用いて基準値内であることを確認
ガスフロー式 β 線測定装置	Sr-90	使用の都度	標準線源を測定し、計数値に変化がないことを確認する。
β 線スペクトロメータ	Cl-36	使用の都度	バックグラウンドを測定し、測定値が判定値以内 (3σ) であることを確認
Si(Li)半導体検出器	Ca-41	使用の都度	バックグラウンドを測定し、測定値が判定値以内 (3σ) であることを確認
表面障壁型 Si 半導体検出器	Am-241	(確認中)	(確認中)
	U-234	使用の都度	バックグラウンドを測定し、測定値が判定値以内 (3σ) であることを確認
低エネルギー光子測定装置	Am-241 (密封線源)	使用の都度	所定のエネルギーの計数率で変動が、判定値以内 ($\pm 10\%$) であることを確認
ICP-MS	Co, In, U	使用の都度	元素毎の強度を測定し、判定値以上を確認後、測定前に検量線を作成
	Li, Ce, Y, Tl	使用の都度	元素毎の強度を測定し、判定値以上を確認後、測定前に検量線を作成
	Zr	使用の都度	標準物質から希釈調製した標準溶液を測定して作成した検量線により定量。

以上

ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の検討で
核種選定の使用したデータについて

ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の検討では、インベントリ評価を実施した上で、手順 1～3 では同結果を踏まえた検討、手順 4，5 では同評価結果に加えて実測データや核種の性質を踏まえた検討を行っている。

本資料では、ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種の選定フローのうち、手順 4 までの検討で使用したデータ一覧を示す。詳細は表 1.1.4-35 の通り。

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (1/13)

核種	告示濃度 限度 [Bq/L]	インベントリ 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4							
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ※1	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果
H-3	6.0E+04	1.7E+15	1.3E+06	2.1E+01	対象	個別	—	対象	4.3E+06	1.0E-08	1.7E+07	2.8E+02	対象
Be-10	7.0E+02	3.0E+09	2.3E+00	3.2E-03	除外								
C-14	2.0E+03	2.5E+13	1.9E+04	9.4E+00	対象	個別	—	対象	2.6E+02	1.0E-10	2.5E+03	1.3E+00	対象
Na-22	3.0E+02	1.4E+08	1.0E-01	3.4E-04	除外								
Si-32	1.0E+03	3.7E+06	2.8E-03	2.8E-06	除外								
P-32	3.0E+02	3.7E+06	2.8E-03	9.4E-06	除外								
Cl-36	9.0E+02	3.1E+10	2.3E+01	2.6E-02	対象	個別	—	対象	< 4.3E+00	1.0E-09	3.1E+01	3.4E-02	対象
Ar-39	—	6.5E+11	※2										
Ar-42	—	3.2E+04	※2										
K-40	1.0E+02	4.7E+08	3.5E-01	3.5E-03	除外								
K-42	2.0E+03	3.2E+04	2.4E-05	1.2E-08	除外								
Ca-41	4.0E+03	1.7E+10	1.3E+01	3.2E-03	除外								
Ca-45	1.0E+03	1.8E+07	1.4E-02	1.4E-05	除外								
Sc-46	6.0E+02	1.4E+02	1.1E-07	1.8E-10	除外								
V-49	4.0E+04	1.0E+05	7.5E-05	1.9E-09	除外								
Mn-54	1.0E+03	1.6E+12	1.2E+03	1.2E+00	対象	個別	—	対象	1.1E+05	1.0E-10	1.6E+02	1.6E-01	対象
Fe-55	2.0E+03	1.1E+16	8.4E+06	4.2E+03	対象	個別	—	対象	1.7E+01	1.0E-14	1.1E+02	5.6E-02	対象

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照
 ※2：手順 2 で除外

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (2/13)

核種	告示濃度 [Bq/L]	インベントリ 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4							
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ※1	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果
Co-60	2.0E+02	3.6E+16	2.7E+07	1.4E+05	対象	個別	—	対象	1.2E+05	1.0E-12	3.6E+04	1.8E+02	対象
Ni-59	1.0E+04	7.3E+13	5.5E+04	5.5E+00	対象	1	5.2E-03	除外					
Ni-63	6.0E+03	8.5E+15	6.4E+06	1.1E+03	対象	1	1.0E+00	対象	5.2E+03	1.0E-12	8.5E+03	1.4E+00	対象
Zn-65	2.0E+02	4.0E+09	3.0E+00	1.5E-02	対象	個別	—	対象	< 1.6E+01	1.0E-11	4.0E-02	2.0E-04	除外
Se-75	3.0E+02	3.9E+03	3.0E-06	9.9E-09	除外								
Se-79	2.0E+02	3.7E+11	2.8E+02	1.4E+00	対象	個別	—	対象	8.3E+03	1.0E-07	3.7E+04	1.8E+02	対象
Kr-81	—	4.5E+10	※2										
Kr-85	—	3.3E+16	※2										
Rb-87	6.0E+02	3.1E+08	2.4E-01	3.9E-04	除外								
Sr-90	3.0E+01	3.9E+17	3.0E+08	9.9E+06	対象	2	1.0E+00	対象	2.9E+08	1.0E-09	3.9E+08	1.3E+07	対象
Y-88	7.0E+02	2.1E+00	1.6E-09	2.3E-12	除外								
Y-90	3.0E+02	3.9E+17	3.0E+08	9.9E+05	対象	2	1.0E-01	対象	—	1.0E-09	3.9E+08	1.3E+06	対象
Zr-93	1.0E+03	1.4E+13	1.0E+04	1.0E+01	対象	個別	—	除外	< 1.3E+00	1.0E-13	1.4E+00	1.4E-03	除外
Nb-91	2.0E+04	9.3E+05	7.0E-04	3.5E-08	除外								
Nb-92	9.0E+02	9.4E+06	7.1E-03	7.9E-06	除外								
Nb-93m	7.0E+03	6.3E+12	4.8E+03	6.8E-01	対象	3	1.0E+00	対象	< 5.2E+01	1.0E-10	6.3E+02	9.0E-02	対象
Nb-94	5.0E+02	9.0E+11	6.7E+02	1.3E+00	対象	3	2.0E+00	対象	< 6.8E-01	1.0E-10	9.0E+01	1.8E-01	対象

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照
 ※2：手順 2 で除外

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (3/13)

核種	告示濃度 限度 [Bq/L]	イベントリ 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4							
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ※1	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果
Mo-93	3.0E+02	1.4E+12	1.1E+03	3.6E+00	対象	個別	—	対象	< 1.4E+00	1.0E-12	1.4E+00	4.8E-03	対象
Tc-97	1.0E+04	1.1E+07	8.4E-03	8.4E-07	除外								
Tc-98	4.0E+02	3.1E+07	2.3E-02	5.8E-05	除外								
Tc-99	1.0E+03	9.4E+13	7.1E+04	7.1E+01	対象	個別	—	対象	1.1E+02	1.0E-11	9.4E+02	9.4E-01	対象
Ru-106	1.0E+02	7.5E+14	5.7E+05	5.7E+03	対象	4	1.0E+00	対象	1.2E+05	1.0E-12	7.5E+02	7.5E+00	対象
Rh-101	2.0E+03	4.1E+05	3.1E-04	1.6E-07	除外								
Rh-102	4.0E+02	2.6E+07	2.0E-02	4.9E-05	除外								
Rh-102m	7.0E+02	5.7E+07	4.3E-02	6.1E-05	除外								
Rh-106	3.0E+05	7.6E+14	5.7E+05	1.9E+00	対象	4	3.3E-04	除外					
Pd-107	2.0E+04	6.1E+11	4.6E+02	2.3E-02	対象	4	4.1E-06	除外					
Ag-108	2.0E+05	1.5E+10	1.1E+01	5.6E-05	除外								
Ag-108m	4.0E+02	1.7E+11	1.3E+02	3.2E-01	対象	5	1.5E+00	対象	—	1.0E-12	1.7E-01	4.3E-04	除外
Ag-109m	5.0E+06	3.6E+10	2.7E+01	5.4E-06	除外								
Ag-110	5.0E+05	1.2E+09	9.0E-01	1.8E-06	除外								
Ag-110m	3.0E+02	8.8E+10	6.6E+01	2.2E-01	対象	5	1.0E+00	対象	< 1.0E+01	1.0E-12	8.8E-02	2.9E-04	除外
Cd-109	4.0E+02	3.6E+10	2.7E+01	6.7E-02	対象	6	4.4E-05	除外					
Cd-113m	4.0E+01	8.2E+13	6.1E+04	1.5E+03	対象	6	1.0E+00	対象	< 1.7E-01	1.0E-14	8.2E-01	2.0E-02	対象

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (4/13)

核種	告示濃度 限度 [Bq/L]	インベントリ 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4							
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ※1	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果
In-113m	3.0E+04	6.6E+04	4.9E-05	1.6E-09	除外								
In-115	3.0E+01	1.4E+04	1.1E-05	3.6E-07	除外								
Sn-113	1.0E+03	6.6E+04	4.9E-05	4.9E-08	除外								
Sn-119m	2.0E+03	5.9E+10	4.4E+01	2.2E-02	対象	7	6.5E-04	除外					
Sn-121	4.0E+03	7.1E+13	5.3E+04	1.3E+01	対象	7	3.9E-01	対象	—	1.0E-13	7.1E+00	1.8E-03	除外
Sn-121m	2.0E+03	9.1E+13	6.9E+04	3.4E+01	対象	7	1.0E+00	対象	< 9.2E+00	1.0E-13	9.1E+00	4.6E-03	除外
Sn-123	4.0E+02	4.4E+05	3.3E-04	8.3E-07	除外								
Sn-126	2.0E+02	1.6E+12	1.2E+03	6.1E+00	対象	7	1.8E-01	対象	< 3.9E+00	1.0E-13	1.6E-01	8.1E-04	除外
Sb-125	8.0E+02	2.9E+15	2.2E+06	2.7E+03	対象	8	1.0E+00	対象	4.3E+05	1.0E-11	2.9E+04	3.6E+01	対象
Sb-126	4.0E+02	2.3E+11	1.7E+02	4.2E-01	対象	7	1.2E-02	対象	—	1.0E-13	2.3E-02	5.6E-05	除外
Sb-126m	2.0E+04	1.6E+12	1.2E+03	6.1E-02	対象	7	1.8E-03	除外					
Te-121	2.0E+03	2.5E+03	1.9E-06	9.3E-10	除外								
Te-121m	4.0E+02	2.5E+03	1.9E-06	4.7E-09	除外								
Te-123	2.0E+02	3.6E+04	2.7E-05	1.4E-07	除外								
Te-123m	6.0E+02	5.5E+04	4.2E-05	6.9E-08	除外								
Te-125m	9.0E+02	1.1E+15	8.0E+05	8.9E+02	対象	8	3.3E-01	対象	—	1.0E-11	1.1E+04	1.2E+01	対象
Te-127	5.0E+03	3.2E+04	2.4E-05	4.8E-09	除外								

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (5/13)

核種	告示濃度 限度 [Bq/L]	インベントリ 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4							
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ※1	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果
Te-127m	3.0E+02	3.2E+04	2.4E-05	8.1E-08	除外								
I-129	9.0E+00	1.6E+11	1.2E+02	1.4E+01	対象	個別	—	対象	1.2E+03	1.0E-08	1.6E+03	1.8E+02	対象
Cs-134	6.0E+01	2.5E+16	1.8E+07	3.1E+05	対象	9	7.0E-02	対象	2.2E+09	1.0E-08	2.5E+08	4.1E+06	対象
Cs-135	6.0E+02	3.5E+12	2.6E+03	4.4E+00	対象	9	9.9E-07	除外					
Cs-137	9.0E+01	5.3E+17	4.0E+08	4.4E+06	対象	9	1.0E+00	対象	2.4E+09	1.0E-08	5.3E+09	5.9E+07	対象
Ba-133	5.0E+02	1.7E+11	1.3E+02	2.5E-01	対象	個別	—	対象	< 2.6E+00	1.0E-09	1.7E+02	3.3E-01	対象
Ba-137m	8.0E+05	5.0E+17	3.8E+08	4.7E+02	対象	9	1.1E-04	除外					
La-137	1.0E+04	4.8E+07	3.6E-02	3.6E-06	除外								
La-138	8.0E+02	1.1E+05	8.6E-05	1.1E-07	除外								
Ce-139	3.0E+03	2.0E+04	1.5E-05	5.0E-09	除外								
Ce-142	7.0E-01	1.8E+08	1.4E-01	2.0E-01	対象	10	8.3E-06	除外					
Ce-144	2.0E+02	1.7E+14	1.3E+05	6.3E+02	対象	10	2.7E-02	対象	3.7E+05	1.0E-13	1.7E+01	8.4E-02	対象
Pr-144	2.0E+04	1.7E+14	1.3E+05	6.3E+00	対象	10	2.7E-04	除外					
Pr-144m	4.0E+04	2.5E+12	1.9E+03	4.8E-02	対象	10	2.0E-06	除外					
Nd-144	2.0E+01	1.1E+04	8.4E-06	4.2E-07	除外								
Pm-144	9.0E+02	1.0E+02	7.8E-08	8.6E-11	除外								
Pm-145	7.0E+03	7.8E+10	5.8E+01	8.4E-03	除外								

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (6/13)

核種	告示濃度 限度 [Bq/L]	イベントリ 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4								
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ ^{※1}	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	
Pm-146	9.0E+02	3.6E+12	2.7E+03	3.0E+00	対象	10	1.3E-04	除外						
Pm-147	3.0E+03	5.6E+16	4.2E+07	1.4E+04	対象	10	5.9E-01	対象	—	1.0E-13	5.6E+03	1.9E+00	対象	
Sm-145	4.0E+03	1.2E+08	8.9E-02	2.2E-05	除外									
Sm-146	2.0E+01	7.1E+05	5.3E-04	2.7E-05	除外									
Sm-147	2.0E+01	4.7E+07	3.5E-02	1.8E-03	除外									
Sm-148	2.0E+01	2.6E+02	2.0E-07	9.9E-09	除外									
Sm-149	2.0E-01	6.1E+00	4.6E-09	2.3E-08	除外									
Sm-151	8.0E+03	2.2E+15	1.6E+06	2.0E+02	対象	10	8.5E-03 ^{※2}	対象	—	1.0E-13	2.2E+02	2.7E-02	対象	
Eu-150	7.0E+02	1.2E+08	8.9E-02	1.3E-04	除外									
Eu-152	6.0E+02	9.0E+12	6.8E+03	1.1E+01	対象	10	4.8E-04	除外						
Eu-154	4.0E+02	1.3E+16	9.5E+06	2.4E+04	対象	10	1.0E+00	対象	1.9E+03	1.0E-13	1.3E+03	3.2E+00	対象	
Eu-155	3.0E+03	3.8E+15	2.8E+06	9.5E+02	対象	10	4.0E-02	対象	—	1.0E-13	3.8E+02	1.3E-01	対象	
Gd-152	2.0E+01	1.4E+01	1.0E-08	5.1E-10	除外									
Gd-153	3.0E+03	1.1E+09	8.0E-01	2.7E-04	除外									
Tb-157	2.0E+04	2.6E+09	1.9E+00	9.7E-05	除外									
Tb-158	8.0E+02	2.1E+09	1.6E+00	2.0E-03	除外									
Dy-159	8.0E+03	6.9E+01	5.2E-08	6.5E-12	除外									

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

※2：代表核種 Eu-154 より半減期が長く、放出期間中に相対比が 0.01 を上回ることから除外しない

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (7/13)

核種	告示濃度 [Bq/L]	インベントリ 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4							
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ ^{※1}	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果
Ho-163	1.0E+05	5.9E+07	4.5E-02	4.5E-07	除外								
Ho-166m	4.0E+02	2.6E+10	1.9E+01	4.8E-02	対象	10	2.0E-06	除外					
Tm-170	6.0E+02	1.9E+06	1.4E-03	2.4E-06	除外								
Tm-171	7.0E+03	5.3E+12	4.0E+03	5.7E-01	対象	10	2.4E-05	除外					
Lu-176	5.0E+02	1.9E+06	1.5E-03	2.9E-06	除外								
Lu-177	2.0E+03	1.8E+06	1.3E-03	6.6E-07	除外								
Lu-177m	5.0E+02	7.7E+06	5.8E-03	1.2E-05	除外								
Hf-182	3.0E+02	8.0E+06	6.0E-03	2.0E-05	除外								
Ta-182	6.0E+02	8.2E+06	6.1E-03	1.0E-05	除外								
W-181	1.0E+04	3.2E+03	2.4E-06	2.4E-10	除外								
Re-187	2.0E+05	5.8E+06	4.3E-03	2.2E-08	除外								
Os-194	3.0E+02	5.3E+08	4.0E-01	1.3E-03	除外								
Ir-192	6.0E+02	2.0E+07	1.5E-02	2.5E-05	除外								
Ir-192m	3.0E+03	2.0E+07	1.5E-02	4.9E-06	除外								
Ir-194	6.0E+02	5.3E+08	4.0E-01	6.6E-04	除外								
Ir-194m	4.0E+02	1.2E+04	9.3E-06	2.3E-08	除外								
Pt-190	1.0E+02	6.5E+03	4.9E-06	4.9E-08	除外								

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (8/13)

核種	告示濃度 限度 [Bq/L]	インベントリ 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4								
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ※1	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	
Pt-193	3.0E+04	9.7E+12	7.3E+03	2.4E-01	対象	4	4.3E-05	除外						
Tl-204	7.0E+02	1.4E+13	1.1E+04	1.5E+01	対象	9	3.5E-06	除外						
Tl-206	1.0E+05	6.5E+05	4.9E-04	4.9E-09	除外									
Tl-207	1.0E+05	7.2E+07	5.4E-02	5.4E-07	除外									
Tl-208	1.0E+05	4.3E+10	3.2E+01	3.2E-04	除外									
Tl-209	1.0E+05	2.8E+04	2.1E-05	2.1E-10	除外									
Pb-205	3.0E+03	2.8E+06	2.1E-03	7.1E-07	除外									
Pb-209	1.0E+04	1.3E+06	9.8E-04	9.8E-08	除外									
Pb-210	1.0E+00	5.3E+06	4.0E-03	4.0E-03	除外									
Pb-211	4.0E+03	7.2E+07	5.4E-02	1.4E-05	除外									
Pb-212	1.0E+02	1.2E+11	8.9E+01	8.9E-01	対象	11-3	1.7E-03	除外						
Pb-214	5.0E+03	1.6E+07	1.2E-02	2.5E-06	除外									
Bi-208	8.0E+02	2.5E+06	1.9E-03	2.3E-06	除外									
Bi-210	6.0E+02	5.3E+06	4.0E-03	6.6E-06	除外									
Bi-210m	5.0E+01	6.5E+05	4.9E-04	9.8E-06	除外									
Bi-211	7.0E+04	7.2E+07	5.4E-02	7.7E-07	除外									
Bi-212	3.0E+03	1.2E+11	8.9E+01	3.0E-02	対象	11-3	5.8E-05	除外						

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (9/13)

核種	告示濃度 限度 [Bq/L]	インベントリ 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4							
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ※1	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果
Bi-213	4.0E+03	1.3E+06	9.8E-04	2.4E-07	除外								
Bi-214	7.0E+03	1.6E+07	1.2E-02	1.8E-06	除外								
Po-210	6.0E-01	5.3E+06	4.0E-03	6.6E-03	除外								
Po-211	4.0E+03	2.0E+05	1.5E-04	3.8E-08	除外								
Po-212	4.0E+03	7.6E+10	5.7E+01	1.4E-02	対象	11-3	2.8E-05	除外					
Po-213	4.0E+03	1.3E+06	9.6E-04	2.4E-07	除外								
Po-214	4.0E+03	1.6E+07	1.2E-02	3.1E-06	除外								
Po-215	4.0E+03	7.2E+07	5.4E-02	1.4E-05	除外								
Po-216	4.0E+03	1.2E+11	8.9E+01	2.2E-02	対象	11-3	4.4E-05	除外					
Po-218	2.0E+04	1.6E+07	1.2E-02	6.1E-07	除外								
At-217	4.0E+03	1.3E+06	9.8E-04	2.4E-07	除外								
Rn-219	4.0E+03	7.2E+07	5.4E-02	1.4E-05	除外								
Rn-220	4.0E+03	1.2E+11	8.9E+01	2.2E-02	対象	11-3	4.4E-05	除外					
Rn-222	5.0E+00	1.6E+07	1.2E-02	2.5E-03	除外								
Fr-221	5.0E+03	1.3E+06	9.8E-04	2.0E-07	除外								
Fr-223	3.0E+02	9.9E+05	7.5E-04	2.5E-06	除外								
Ra-223	5.0E+00	7.2E+07	5.4E-02	1.1E-02	対象	11-2	2.1E-05	除外					

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (10/13)

核種	告示濃度 [Bq/L]	インベントリ 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4							
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ※1	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果
Ra-224	9.0E+00	1.2E+11	8.9E+01	9.9E+00	対象	11-3	1.9E-02	対象	—	1.0E-13	1.2E-02	1.3E-03	除外
Ra-225	5.0E+00	1.3E+06	9.8E-04	2.0E-04	除外								
Ra-226	2.0E+00	1.6E+07	1.2E-02	6.1E-03	除外								
Ra-228	7.0E-01	1.8E+07	1.3E-02	1.9E-02	対象	11-3	3.8E-05	除外					
Ac-225	3.0E+01	1.3E+06	9.8E-04	3.3E-05	除外								
Ac-227	8.0E-01	7.2E+07	5.4E-02	6.8E-02	対象	11-2	1.3E-04	除外					
Ac-228	2.0E+03	1.8E+07	1.3E-02	6.7E-06	除外								
Th-227	8.0E+01	7.1E+07	5.3E-02	6.7E-04	除外								
Th-228	9.0E+00	1.2E+11	8.9E+01	9.9E+00	対象	11-3	1.9E-02	対象	—	1.0E-13	1.2E-02	1.3E-03	除外
Th-229	2.0E+00	1.3E+06	9.8E-04	4.9E-04	除外								
Th-230	4.0E+00	2.4E+09	1.8E+00	4.5E-01	対象	11-1	8.9E-04	除外					
Th-231	2.0E+03	3.7E+11	2.8E+02	1.4E-01	対象	11-2	2.7E-04	除外					
Th-232	4.0E+00	1.8E+07	1.4E-02	3.4E-03	除外								
Th-234	2.0E+02	3.0E+12	2.3E+03	1.1E+01	対象	11-1	2.2E-02	対象	—	1.0E-13	3.0E-01	1.5E-03	除外
Pa-231	1.0E+00	2.6E+08	2.0E-01	2.0E-01	対象	11-2	3.8E-04	除外					
Pa-233	9.0E+02	1.7E+12	1.3E+03	1.4E+00	対象	12	1.0E-02	対象	—	1.0E-12	1.7E+00	1.9E-03	除外
Pa-234	2.0E+03	3.9E+09	3.0E+00	1.5E-03	除外								

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (11/13)

核種	告示濃度 限度 [Bq/L]	インベントリ 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4							
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ※1	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果
Pa-234m	3.0E+05	3.0E+12	2.3E+03	7.6E-03	除外								
U-232	3.0E+00	1.2E+11	9.2E+01	3.1E+01	対象	11	6.0E-02	対象	—	1.0E-13	1.2E-02	4.1E-03	除外
U-233	2.0E+01	4.0E+08	3.0E-01	1.5E-02	対象	11	3.0E-05	除外					
U-234	2.0E+01	1.4E+13	1.0E+04	5.1E+02	対象	11	1.0E+00	対象	1.6E-01	1.0E-13	1.4E+00	6.8E-02	対象
U-235	2.0E+01	3.7E+11	2.8E+02	1.4E+01	対象	11	2.7E-02	対象	4.9E-03	1.0E-13	3.7E-02	1.8E-03	除外
U-236	2.0E+01	2.0E+12	1.5E+03	7.5E+01	対象	11	1.5E-01	対象	2.8E-02	1.0E-13	2.0E-01	9.9E-03	除外
U-237	1.0E+03	1.1E+13	8.0E+03	8.0E+00	対象	13	2.7E-06	除外					
U-238	2.0E+01	3.0E+12	2.3E+03	1.1E+02	対象	11	2.2E-01	対象	4.5E-02	1.0E-13	3.0E-01	1.5E-02	対象
U-240	7.0E+02	1.7E+06	1.3E-03	1.9E-06	除外								
Np-235	1.0E+04	7.6E+06	5.7E-03	5.7E-07	除外								
Np-236	6.0E+01	2.6E+07	1.9E-02	3.2E-04	除外								
Np-237	9.0E+00	1.7E+12	1.3E+03	1.4E+02	対象	12	1.0E+00	対象	5.3E-01	1.0E-12	1.7E+00	1.9E-01	対象
Np-238	9.0E+02	4.5E+11	3.4E+02	3.8E-01	対象	14	1.9E-07	除外					
Np-239	1.0E+03	8.5E+13	6.4E+04	6.4E+01	対象	14	3.2E-05	除外					
Np-240m	5.0E+04	1.7E+06	1.3E-03	2.6E-08	除外								
Pu-236	1.0E+01	1.1E+11	8.2E+01	8.2E+00	対象	13	2.7E-06	除外					
Pu-238	4.0E+00	1.6E+16	1.2E+07	3.0E+06	対象	13	1.0E+00	対象	9.3E+00※2	1.0E-15	1.6E+01	4.0E+00	対象

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

※2：FRAnDLi のデータは分析値から 2011/3/11 の基準日へ単純な減衰補正をしているものの、親核種からも生成されることから、今回の検討の中で親核種から生成を考慮した減衰補正を実施

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (12/13)

核種	告示濃度 限度 [Bq/L]	イベントリ 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4							
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ ^{※1}	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果
Pu-239	4.0E+00	2.6E+15	2.0E+06	5.0E+05	対象	13	1.7E-01	対象	2.0E+00 ^{※2}	1.0E-15	2.6E+00	6.6E-01	対象
Pu-240	4.0E+00	3.3E+15	2.5E+06	6.3E+05	対象	13	2.1E-01	対象	2.0E+00 ^{※2}	1.0E-15	3.3E+00	8.4E-01	対象
Pu-241	2.0E+02	4.3E+17	3.3E+08	1.6E+06	対象	13	5.5E-01	対象	—	1.0E-15	4.3E+02	2.2E+00	対象
Pu-242	4.0E+00	1.1E+13	8.4E+03	2.1E+03	対象	13	7.1E-04	除外					
Pu-243	9.0E+03	5.4E+05	4.0E-04	4.5E-08	除外								
Pu-244	4.0E+00	1.7E+06	1.3E-03	3.2E-04	除外								
Am-241	5.0E+00	1.3E+16	9.9E+06	2.0E+06	対象	14	1.0E+00	対象	3.4E+00 ^{※3}	1.0E-15	1.3E+01	2.6E+00	対象
Am-242	3.0E+03	9.0E+13	6.7E+04	2.2E+01	対象	14	1.1E-05	除外					
Am-242m	5.0E+00	9.0E+13	6.8E+04	1.4E+04	対象	14	6.9E-03	除外					
Am-243	5.0E+00	8.5E+13	6.4E+04	1.3E+04	対象	14	6.5E-03	除外					
Am-245	1.0E+04	6.3E+00	4.7E-09	4.7E-13	除外								
Cm-242	6.0E+01	7.4E+13	5.6E+04	9.3E+02	対象	14	4.7E-04	除外					
Cm-243	6.0E+00	7.5E+13	5.7E+04	9.4E+03	対象	14	4.8E-03	除外					
Cm-244	7.0E+00	6.5E+15	4.8E+06	6.9E+05	対象	14	3.5E-01	対象	3.5E+00	1.0E-15	6.5E+00	9.2E-01	対象
Cm-245	5.0E+00	1.1E+12	8.2E+02	1.6E+02	対象	14	8.3E-05	除外					
Cm-246	5.0E+00	1.8E+11	1.3E+02	2.6E+01	対象	14	1.3E-05	除外					
Cm-247	5.0E+00	5.4E+05	4.0E-04	8.1E-05	除外								

※1：グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照
 ※2：Pu-239+240 の分析結果を記載
 ※3：FRAnDLi のデータは分析値から 2011/3/11 の基準日へ単純な減衰補正をしているものの、親核種からも生成されることから、今回の検討の中で親核種から生成を考慮した減衰補正を実施

表 1.1.4-35 核種選定の過程で使用したデータ一覧 (13/13)

核種	告示濃度 限度 [Bq/L]	イベント 評価結果 [Bq]	手順 3			手順 4							
			評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果	グループ ^{※1}	相対比	評価 結果	分析値 [Bq/L]	移行係数 [1/L]	評価濃度 [Bq/L]	告示比	評価 結果
Cm-248	1.0E+00	1.4E+06	1.0E-03	1.0E-03	除外								
Bk-249	9.0E+02	4.3E+05	3.3E-04	3.6E-07	除外								
Cf-249	2.0E+00	1.3E+07	9.7E-03	4.9E-03	除外								
Cf-250	5.0E+00	7.1E+07	5.3E-02	1.1E-02	対象	14	5.4E-09	除外					
Cf-251	2.0E+00	7.1E+05	5.4E-04	2.7E-04	除外								
Cf-252	7.0E+00	9.6E+06	7.2E-03	1.0E-03	除外								

※1: グループ番号は、別紙-4 2.4.3.2 参照

以上

ALPS入口/出口における告示濃度限度比総和の比較 【改定版】

2022年12月13日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

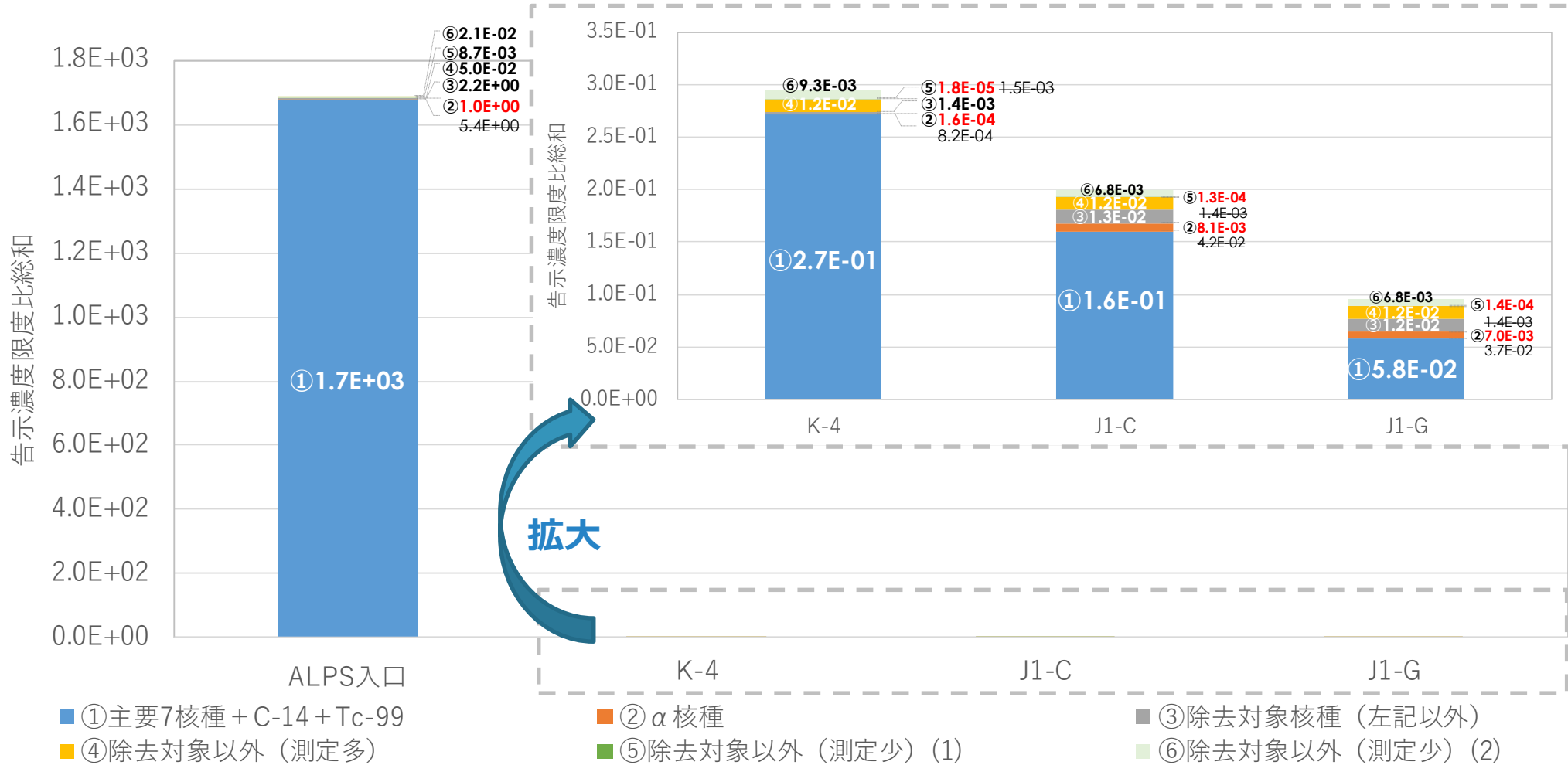
- 測定・評価対象核種と監視対象核種の35核種について、ALPS入口（2021年度）及びALPS出口（K4、J1-C、J1-G）の分析結果を、下表の分類で告示濃度限度比総和を確認した結果について報告する。なお、 α 核種の告示濃度比の算出には、全 α 値を最も告示濃度比の低い4Bq/Lで除することで算出する。

No.	分類	具体的核種	ALPS入口	ALPS出口					
				K-4	J1-C	J1-G			
①	ALPS処理水中で主に検出される核種	主要7核種 (放射平衡Y-90, Te-125m 含む) , C-14, Tc-99	1.7E+03	2.7E-01	1.6E-01	5.8E-02			
②	ALPS処理水中にはほとんど検出されない核種	α	U-234, U-238, Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Cm-244	5.4E+00 →1.0E+00	8.2E-04 →1.6E-04	4.2E-02 →8.1E-03	3.7E-02 →7.0E-03		
③			ALPS除去対象(上記以外)	Mn-54, Ni-63, Cd-113m, Ce-144, Pm-147, Sm-151, Eu-154, Eu-155, Pu-241	2.2E+00	1.4E-03	1.3E-02	1.2E-02	
④		α 以外	除去対象以外	測定数多	Cl-36, Se-79, Nb-94	5.0E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.2E-02
⑤				測定数少	(1)全 β , Geで計数可 Ba-133	8.7E-03	1.5E-03 →1.8E-05	1.4E-03 →1.3E-04	1.4E-03 →1.4E-04
⑥			測定数少	(2)全 β , Geで計数不可 Fe-55, Nb-93m, Mo-93	2.1E-02	9.3E-03	6.8E-03	6.8E-03	

※：J1-C, J1-Gでは、Cl-36, Se-79, Ba-133, Fe-55, Nb-93m, Mo-93の分析・評価結果がないため、増設ALPS出口の結果を使用

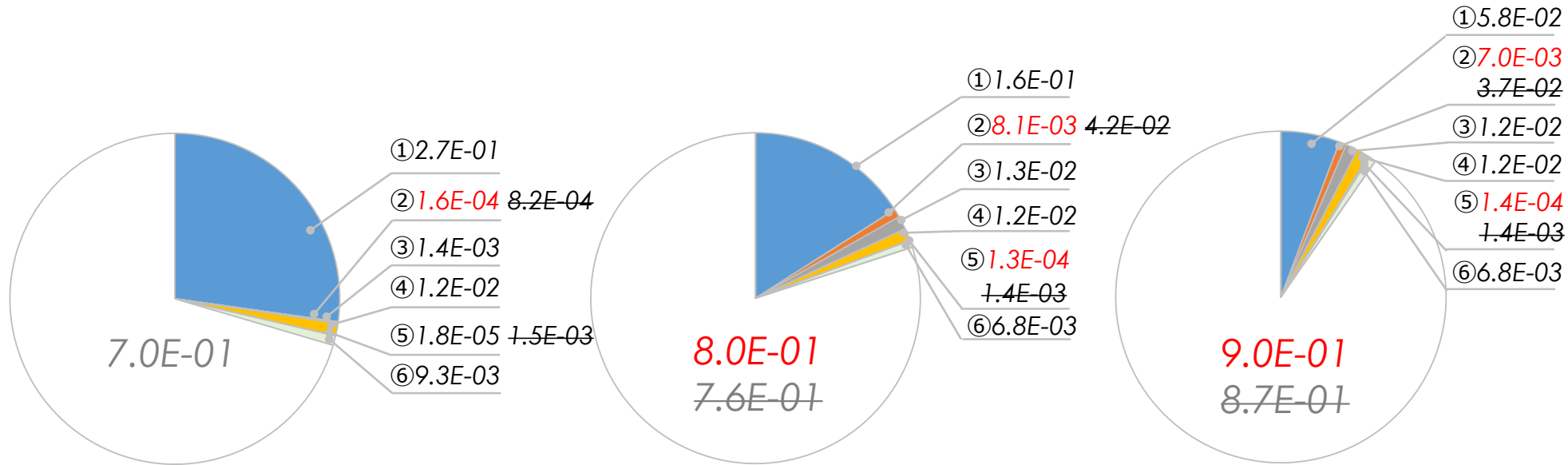
2. 評価結果（告示濃度限度比総和の比較）

■ P1に示した告示濃度限度比総和をグラフで示すと下図の通り。



3. 評価結果（ALPS処理水の放出基準に対する割合）

- P1に示した、測定・評価対象核種と監視対象核種の35核種が放出基準（告示濃度限度比総和1未満）に対する割合を示すと下図の通り。
- それぞれのALPS処理水で、放出基準に対して、7.0E-01～9.0E-01程度の余裕がある。



K-4

J1-C

J1-G

- ① 主要7核種 + C-14 + Tc-99
- ③ 除去対象核種 (左記以外)
- ⑤ 除去対象以外 (測定少) (1)

- ② α核種
- ④ 除去対象以外 (測定多)
- ⑥ 除去対象以外 (測定少) (2)

福島第一原子力発電所 多核種除去設備等処理水の海洋放出に向けた
海域モニタリングにおける魚のトリチウム分析値の検証について
(報 告)

TEPCO

【案】

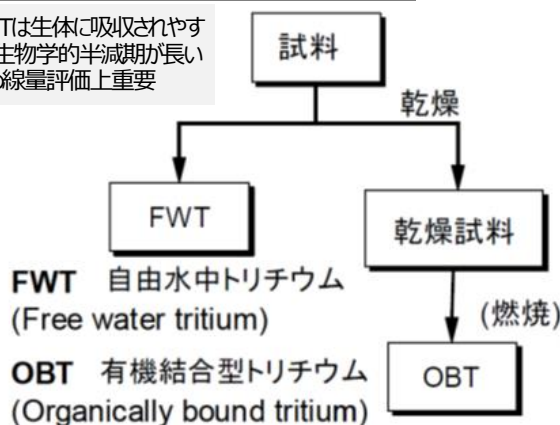
2022年12月13日

東京電力ホールディングス株式会社

- 本年3月24日公表のALPS処理水処分に係わる海域モニタリング計画ではモニタリング地点と対象の追加により、魚に含まれるトリチウムの分析を、従来の月1地点から従来の地点を含めた計11地点に増加しました。（従前の1地点は九環協が分析を継続）
- モニタリング計画では、各実施機関の結果を比較検討することにより妥当性を確認することにしており、当社および当社委託先の株式会社化研（以下、化研）では、初めて魚のトリチウムを分析することから、公定法（放射能測定法シリーズ）をベースに分析し、分析結果を十分に実績のある九環協の結果との比較を行いました。
- 本年5月から11地点の魚の分析に着手した結果、当社分析のFWT※下図、また、当社および化研分析のOBT※下図において、周辺海水のトリチウム濃度より高い濃度で検出されていることを確認しました。当社と化研の分析結果は、従来と同程度の分析値であった九環協の分析結果と異なる傾向になりました。
- このため、九環協と当社および化研の当該分析結果を確認した8月以降、当社と化研の分析作業を一旦中断し、3者とは別の専門家に協力いただき、分析方法の相違点をはじめとする原因調査を行いました。

有機物中のトリチウムの測定

OBTは生体に吸収されやすく、生物学的半減期が長い
ため線量評価上重要



前処理機器

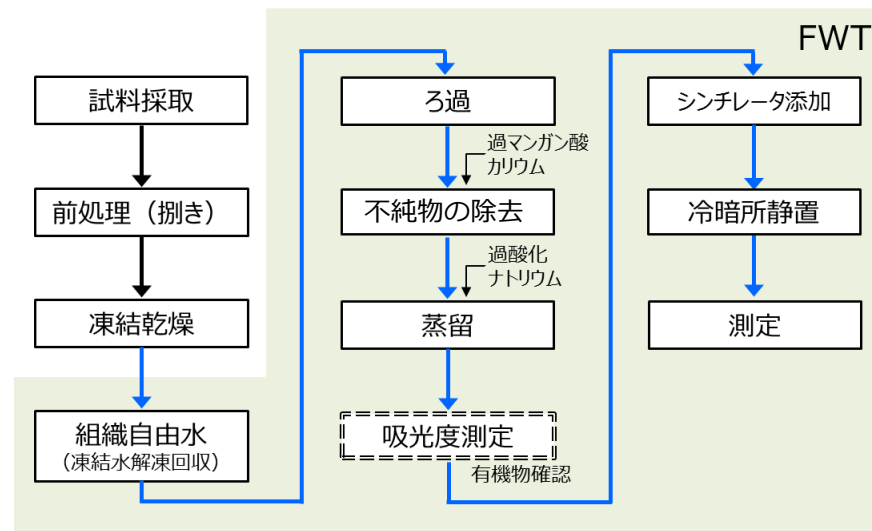
- 魚のトリチウム測定は、FWTと、OBTの2種類を測ります。
- FWTは、魚の体内の水分のトリチウム濃度であり、魚の水分を蒸発させて回収し、測定します。
- OBTは、魚の組織（筋肉等のタンパク質）に含まれる水素原子の一部として含まれるトリチウムであり、組織を燃焼して発生した水を回収し、測定します。燃焼の際に測定に影響をおよぼす不純物が試料へ移行するおそれがあるので回収水の不純物の除去が必要です。
- 魚のトリチウム測定は、対応できる分析機関が限られており難易度が高いです。

2. 魚のトリチウム分析方法

- 魚のトリチウム測定は、FWTと、OBTの2種類を測定します。

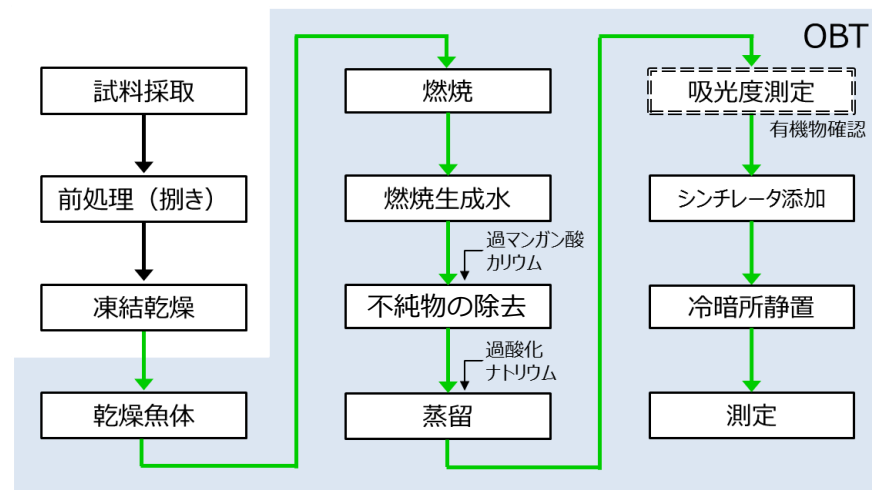
<FWTの分析方法>

- 分析対象とする部位を分け取った後、冷凍庫で凍結し、凍結した試料から真空乾燥を行って水分（組織自由水）を取り出し、分析用試料とします。
- その後、組織自由水（分析用試料）に残留する有機物を酸化剤を加えて分解し、蒸留を行い、液体シンチレーションカウンタで測定を行います。



<OBTの分析方法>

- 真空乾燥後に残った乾燥物を燃焼し、発生した水分（燃焼生成水）を回収して、分析用試料とします。
- その後、燃焼生成水（分析用試料）に残留する有機物を酸化剤を加えて分解（不純物を除去）し、蒸留を行い、液体シンチレーションカウンタで測定を行います。



3. 魚のトリチウム分析に影響する要因

- 魚のトリチウムの分析では、海水のトリチウム分析に比べて分析値に影響する因子が多く含まれています。
- 要因分析に加えて、九環協と化研の分析方法について直接現地で確認し、当社も含めた3者の方法と比較して、要因の絞り込みと調査を3者とは別の専門家の意見を伺いながら行いました。
- その結果、分析値に影響する要因として、「測定装置の影響」「不純物（有機物）の影響」「化学反応の影響」を抽出しました。

① 測定装置の影響について

- 使用している測定装置は各所で性能や設置環境が異なるため、装置の違いが分析結果に影響をおよぼしているおそれがあると考えました。

② 不純物（有機物）の影響について

- 魚に含まれるトリチウムは、海水濃度レベルであり、わずかでも不純物が含まれていると、正しく測定できないところ、前処理工程の違いにより、不純物の除去が十分でないおそれがあると考えました。（前処理操作の工程検討）

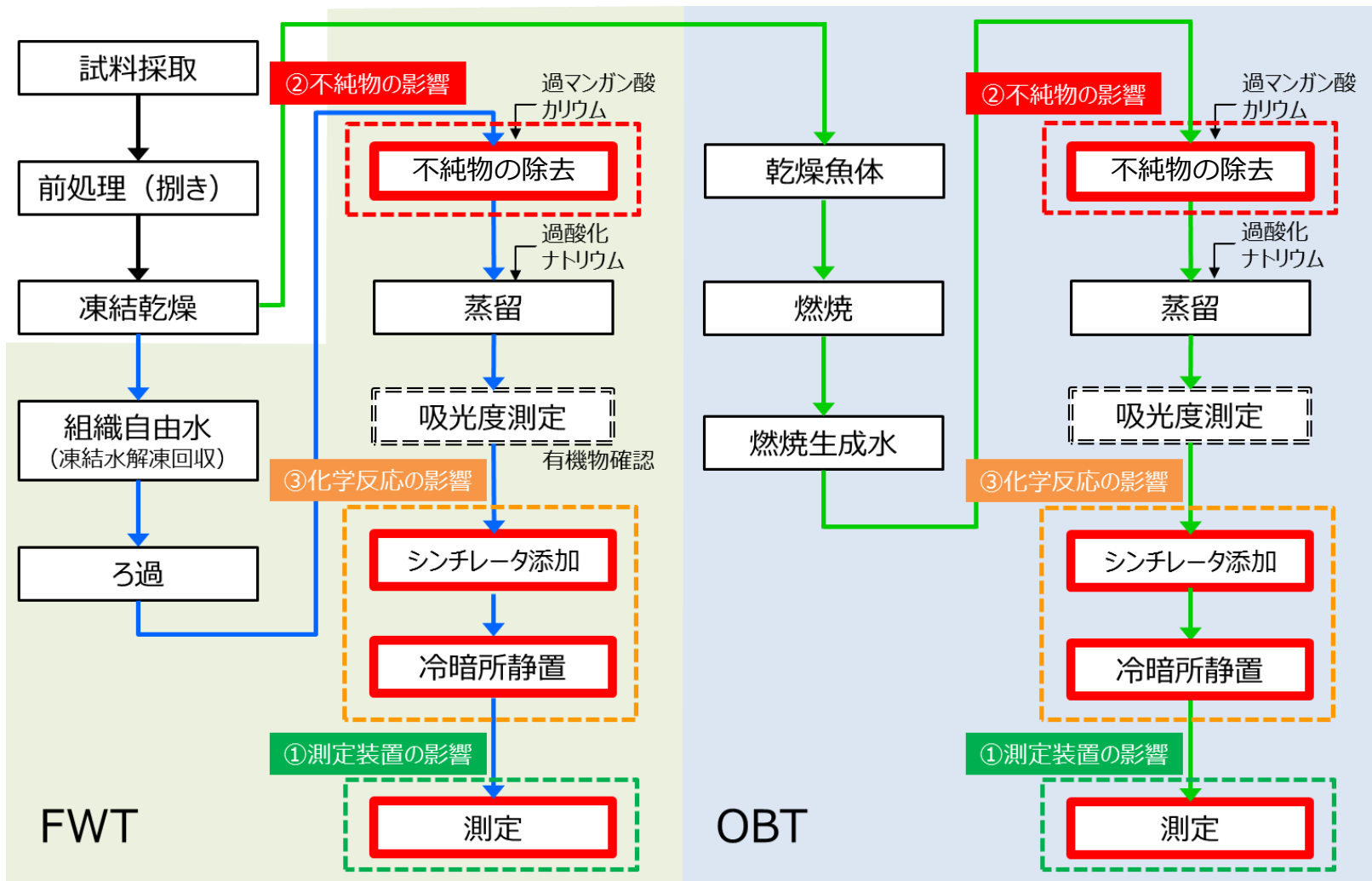
③ 化学反応の影響について

- トリチウムは直接測定することが出来ないため、放射線を光に変換し、光量を測定しているところ、静置方法の違いなどにより、化学反応などによる発光が残留しているおそれがあると考えました。（測定段階の工程検討）

3. 魚のトリチウム分析に影響する要因

■ 今回要因と考えた点

- ① 測定装置の影響
- ② 不純物（有機物）の影響
- ③ 化学反応の影響



- 今回要因と考えた「測定装置の影響」「不純物（有機物）の影響」「化学反応の影響」について、3者とは別の専門家の意見を伺いながら以下の検証を行いました。
- 当社とともに化研でも同様の検証を行っています。

①測定装置の影響について

- 当社（1F構内分析施設）、構外施設、化研に設置している同一機種（LSC-LB-8）を用いて、同日・同時刻に同一条件で、試料を入れない空の測定容器のみでの測定を行い、測定装置の違いによる影響の有無を確認しました。

②不純物（有機物）の影響について

- 当社（1F構内分析施設）と化研において、九環協の前処理操作（不純物の除去）を用いて分析を行いました。各々の分析施設の前処理操作での結果と比較を行い、不純物（有機物）の影響の有無を確認しました。

③化学反応の影響について

- 当社（1F構内分析施設）と化研において、OBTが検出された測定済みの試料に対して、経時変化を確認する目的で時間を追って測定を行い、化学反応の影響の有無を確認しました。

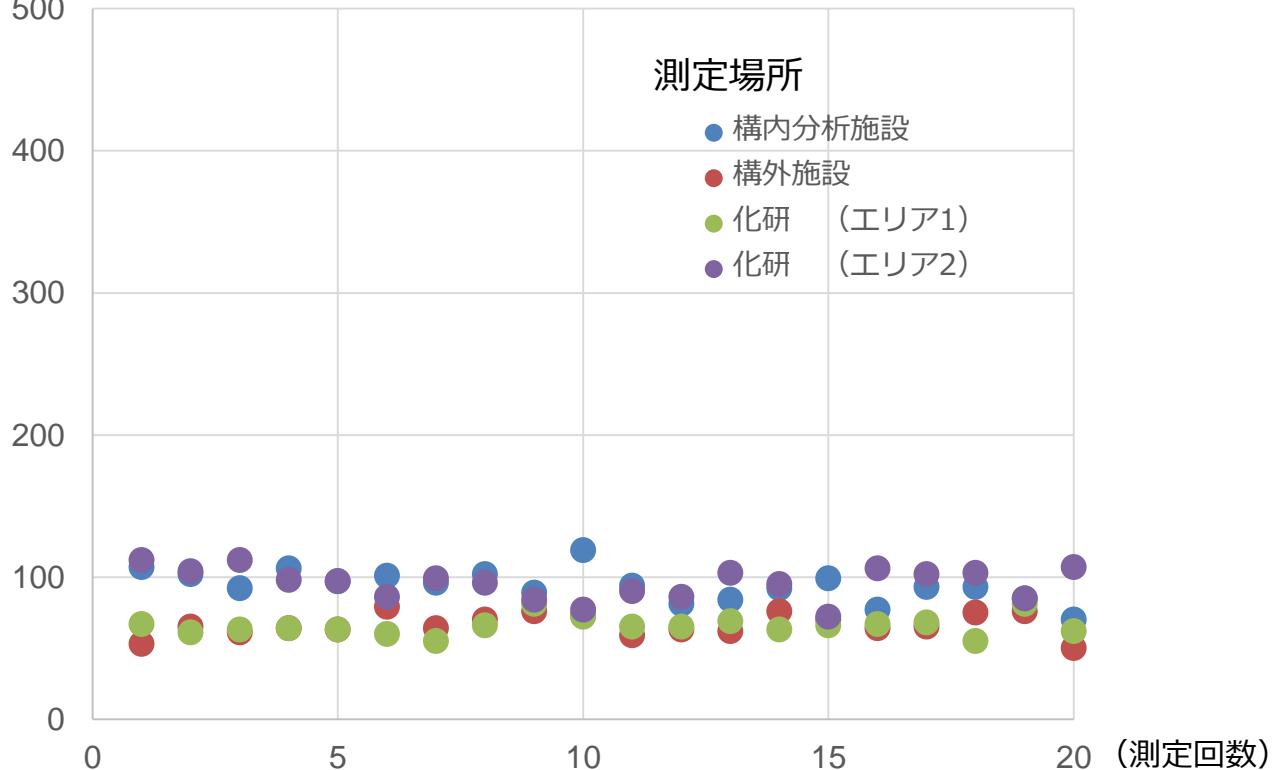
5. 測定装置に関する検証結果

- 当社（1F構内分析施設）、構外施設、化研に設置している同一機種（LSC-LB-8）を用いて、同日・同時刻に同一条件で、試料を入れない空の測定容器のみで測定を行いました。
- その結果、繰り返し測定を行った各所4施設でのデータについて、有意な差が認められませんでした。
- 従って、測定装置の違いによる影響はないと評価しました。

(計数值※) 500

※ 測定された放射線の数

本グラフでは、トリチウムの測定エネルギー領域の計数值を示す



6. 不純物（有機物）に関する調査結果

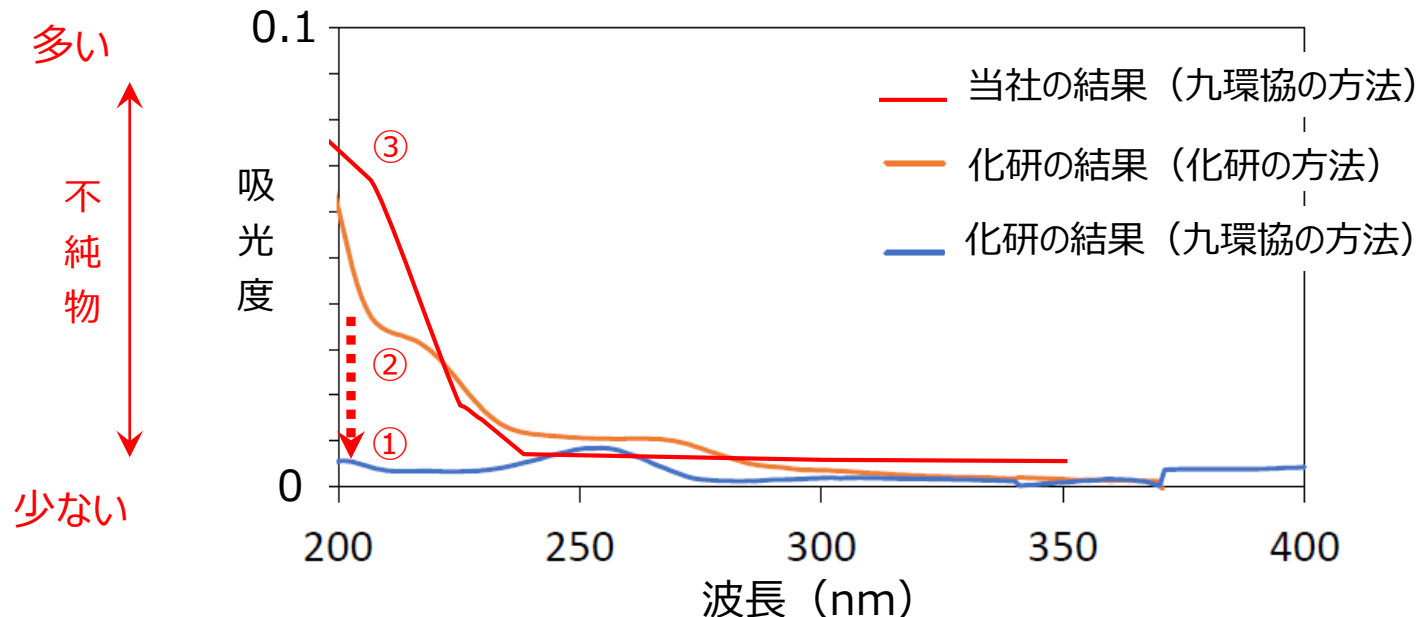
- 不純物（有機物）の除去は公定法（放射能測定法シリーズ）をベースに行っています。公定法では、除去をするために添加する必要がある試薬の種類と量が記載されていますが、「試料中の有機物含量に応じて添加量を適宜調整する」と注意書きされており、測定対象魚種等の特徴にあわせて、測定者が適切な添加量を見極める必要があります。
- 不純物が除去できているかどうか次ページのとおり確認を行ったところ、九環協の手法では当社・化研の手法よりも不純物がより適切に除去できていることがわかりました。手法を比較した結果、当社と化研に比べて、九環協は、除去操作の時間が長いことや試薬の添加量が多いことを確認し、当社・化研の手法では不純物を除去するための化学反応が十分でなかったことがわかりました。

九環協・化研・当社（1F構内分析施設）・公定法における分析方法の比較

分析機関	九環協	化研	当社 (1F構内分析施設)	公定法※
不純物の除去方法				
試薬	過マンガン酸カリウム (約1g添加)	過マンガン酸カリウム (約1g添加)	過マンガン酸カリウム (約0.3g添加)	過マンガン酸カリウム (分析試料約70mlに対して 約0.5g添加)
温度	100℃	100℃	60℃	100℃
時間	7時間/日を4日繰り返す	8時間	6時間以上	4時間以上

6. 不純物（有機物）に関する調査結果

- 不純物除去方法の違いによる影響を確認するため、当社と化研で、九環協の方法による不純物除去を行い、不純物の残留の目安となる吸光度（数値が低いほど不純物が少ない）を測定・比較しました。
- 化研では、九環協の方法で行った結果、従来の方法と比べて200nm付近の吸光度が大幅に低下しており、不純物の除去（残留物の減少）が促進されていることを確認しました。（下図②→①）
- この方法で試験的に魚試料を分析した結果、化研では不純物による化学発光影響の排除ができ、OBTは検出下限値未満となり、九環協の不純物分解の方法は、残留不純物の化学発光を抑えるために有効な方法であることが確認できました。
- 一方、当社では、九州環境管理協会の方法で行った場合も吸光度を十分に低減することができず、期待していた改善効果を得ることができませんでした。（下図③）



7. 化学反応に関する調査結果

- 不純物の分解と蒸留を行った後、発光液（液体シンチレータ）を添加し測定を行います。
- 公定法（放射能測定法シリーズ）では、液体シンチレータ添加後、一昼夜から1週間程度放置してから測定を行うことが推奨されています。
- 添加後の試料の静置時間について比較した結果、九環協と化研では1週間、当社では海水等の分析経験を踏まえ3日以上と設定していました。
- 当社は、他の分析機関と比べて、静置時間が短いことから、化学反応を排除するための静置時間が十分ではないおそれがあることを確認しました。

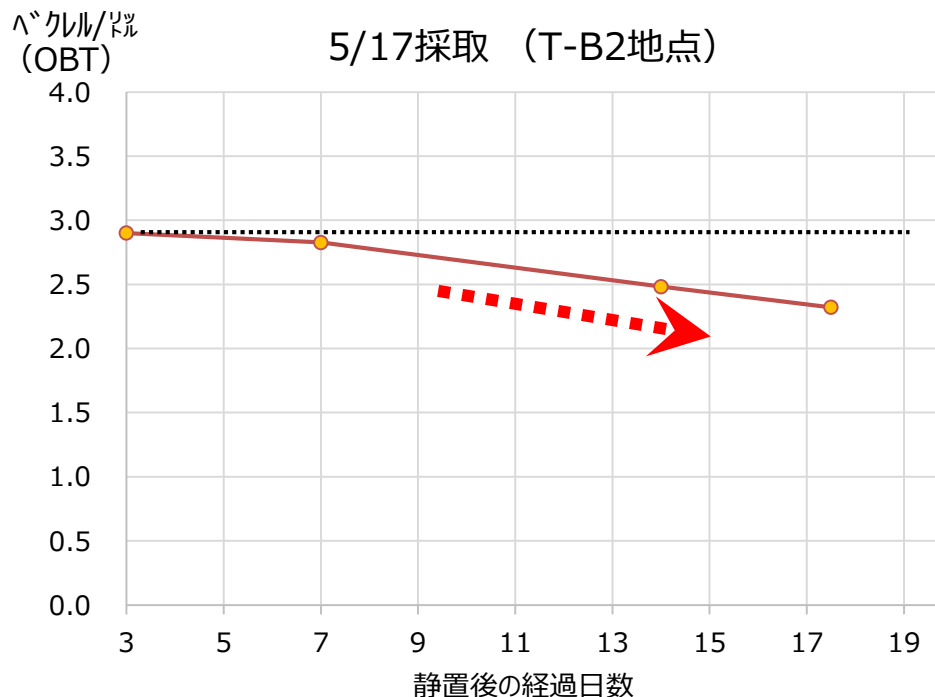
九環協・化研・当社（1F構内分析施設）・公定法における分析方法の比較

分析機関	九環協	化研	当社 (1F構内分析施設)	公定法※
測定装置	LSC-LB-5、LB-7 (日本レイテック製)	LSC-LB-7、LB-8 (日本レイテック製)	LSC-LB-7、LB-8 (日本レイテック製)	液体シンチレーションカウンタ
液体シンチレータ	ウルチマゴールドuLLT	ウルチマゴールドLLT	ウルチマゴールドLLT	乳化シンチレータ (シンチゾールEX-H、 ウルチマゴールドLLT 等の市販品)
液体シンチレータ添加後の 試料の静置時間	1週間	1週間	3日以上	試料調整後 一昼夜から1週間程度
静置環境	20℃（空調温度） 冷暗所	15℃ 測定装置内（冷暗所）	15℃ 測定装置内（冷暗所）	測定器内または16℃程度 に設定したインキュベータ (恒温器) 内に放置

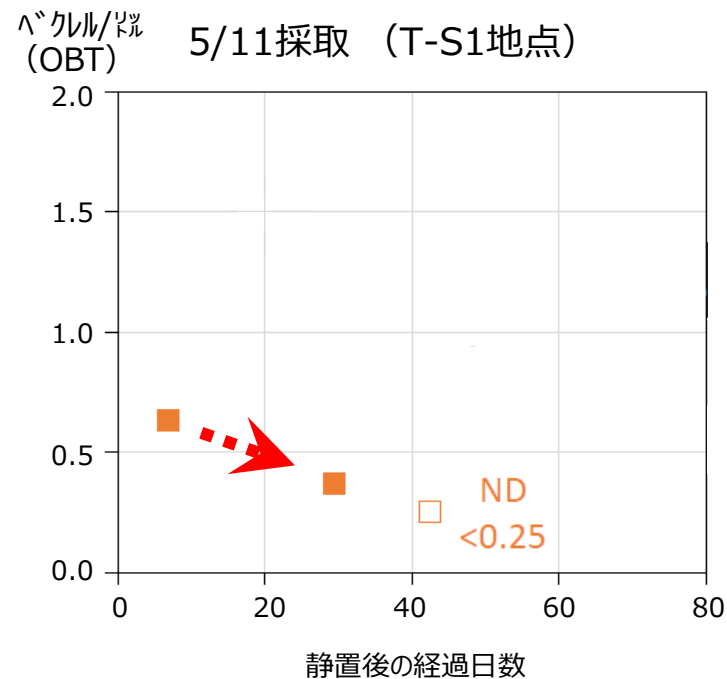
※放射能測定法シリーズ9 トリチウム分析法（平成14年改訂）文部科学省

7. 化学反応に関する調査結果

- 化研と当社でOBTが検出された測定済みの試料を用いて、経時的に測定を実施したところ、化学反応の収束による分析値の低下が確認されました。
- このことから、液体シンチレータ添加に伴う化学反応が十分に収まっておらず、静置時間が不十分な状態で測定を行っていたと評価しました。
- なお、今回の調査に用いた試料における確認では、残留不純物による化学発光の影響が大きいですが、化学反応による化学発光の影響も加わっていました。



当社の調査結果



化研の調査結果

8. 化研の取り組み

- 化研では、調査結果を踏まえて、科学的根拠に照らして合理的であることを確認のうえ、OBTの分析方法（前処理）について、不純物の除去を九環協の方法に見直しました。この方法で、試験的に魚試料を分析し検証した結果、不純物による影響を排除することができ、OBTは検出下限値未満となりました。
- 化研では、九環協の方法をベースとしたあらたな分析手順書に改定し、10月24日から魚のトリチウムの分析を再開したところ、OBTの結果は検出下限値未満でした。

化研における分析方法（見直し後）

分析機関	化研（見直し後）	九環協
不純物の除去方法		
試薬	過マンガン酸カリウム （約1g添加）	過マンガン酸カリウム （約1g添加）
温度	100℃	100℃
時間	28時間以上	7時間/日を4日繰り返す
不純物の残留状態の確認方法		
吸光度	<0.1(200nm付近)	<0.1(200nm付近)
導電率	<10 μ S/cm	<10 μ S/cm
pH	中性	中性

9. 当社の取り組み

- 当社の分析結果は、九環協・化研とは異なる傾向であり、OBTが実際より大きく測定されていると判断しました。
- 今回の魚のトリチウム分析では、非常に微少な量のトリチウムを測定するため、他試料からの汚染混入には十分注意していますが、当社は管理対象区域内で分析を行っていることから、不純物の除去方法の精査を続けるとともに、トリチウムが環境中から混入していることが原因となっている可能性についても検討に加え、調査を継続します。
 - 構内分析施設のなかでもトリチウムの混入が少ないと考えられる分析エリアにおいて、九環協の不純物の除去方法・静置時間を適用し、試験的に魚試料の分析を行っています。（アクション1）
 - 当該検証が終了次第、分析員の技能の確認も兼ねて、当社と化研で試験的に魚試料の比較測定を行います。（アクション2）
- 調査を完了するまでの間は、当社の分析対象試料5地点は化研で分析を行います。



不純物（有機物）の除去装置を使用している様子

[当社の分析再開に向けたスケジュール]

- ・アクション1：12月目途に実施予定
- ・アクション2：アクション1完了後に準備が整い次第、着手予定

參考資料

調査・試験のデータを次ページ以降に掲載

A. 分析方法の詳細確認

要因分析、施設レイアウト、分析手順

B. 測定装置の影響確認

スペクトル調査

C. 不純物の影響確認

吸光度調査

D. 化学反応の影響確認

経時変化調査

参 考

- ・ 魚類採取地点の海水トリチウム濃度の推移
- ・ 周辺海域のトリチウム濃度の推移
- ・ 1F構内分析施設の雰囲気トリチウム濃度

A-1. 分析値に影響する要因の洗い出しで挙げた可能性

機器依存の要因・試料静置時間：データを収集し調査検討

有機物の残留、蒸留時移行等：反応条件と精製確認の厳格化で包括できると判断

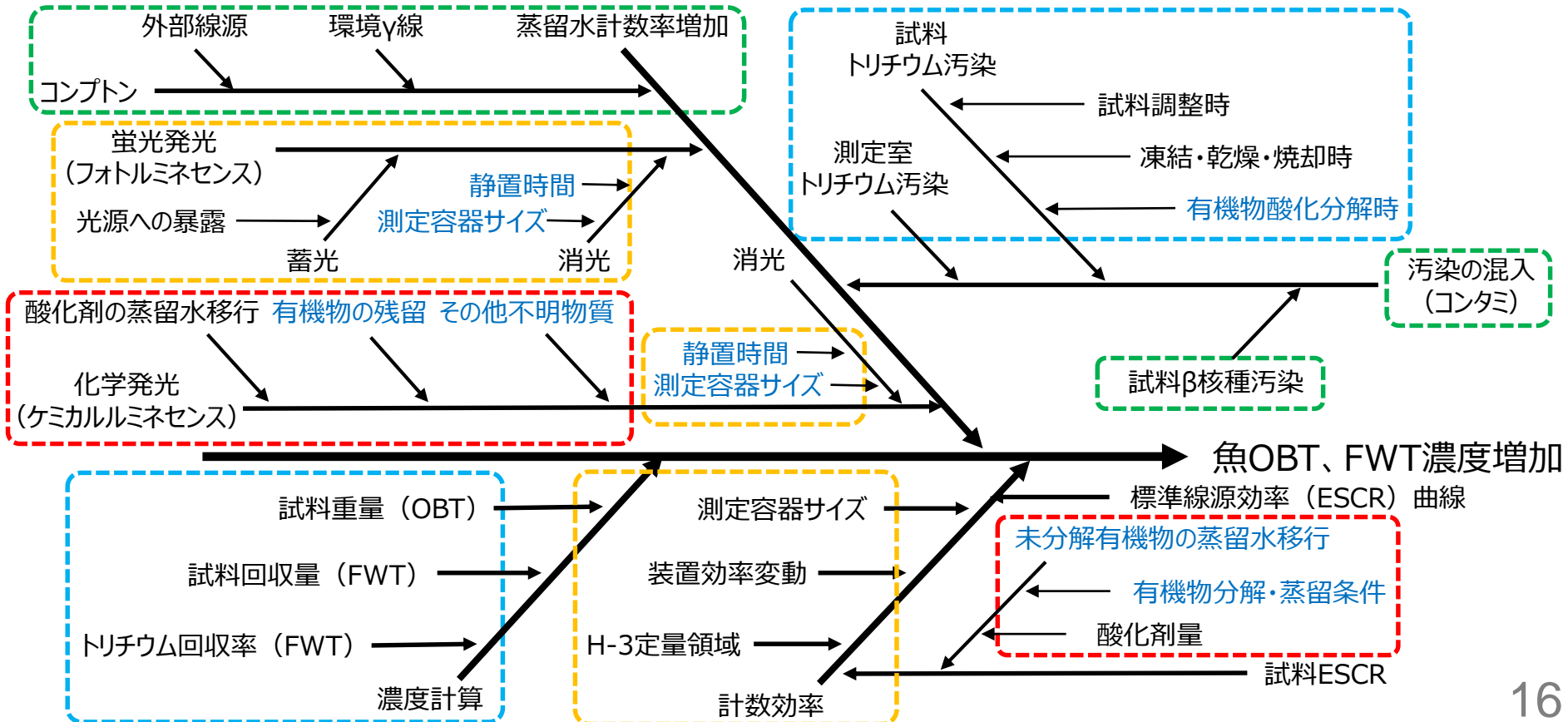
①計算ミス、②雰囲気トリチウムコンタミの可能性：次の理由により除外するが1F構内分析施設での作業環境におけるコンタミは継続調査を実施

→ ①検算を実施し間違いがないことを確認

②当社と化研での同時混入、FWTとOBTの検出値に一貫性がない

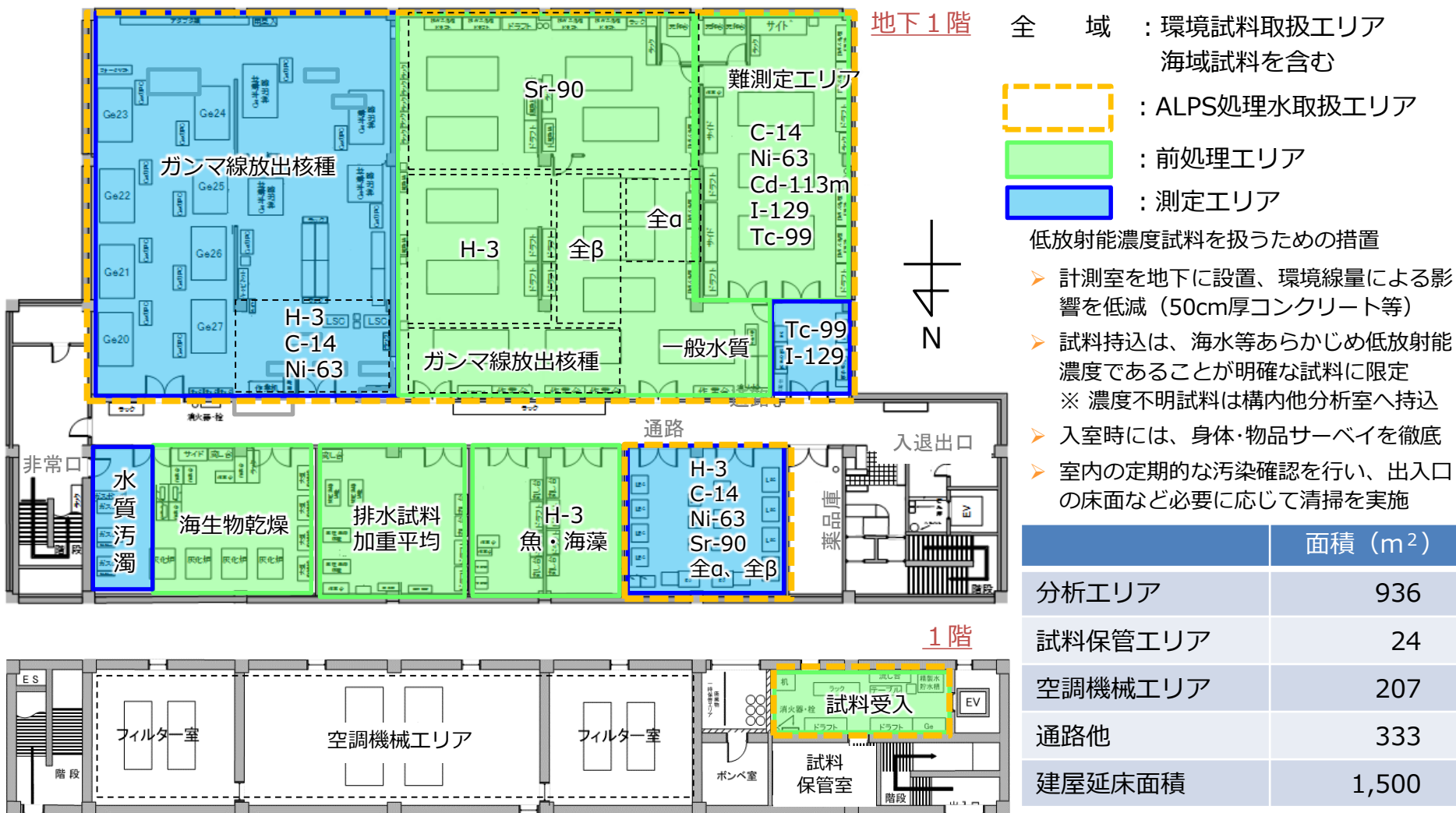
外部からのβ核種汚染、雰囲気線量の影響：

→ 持込物の表面汚染、作業環境線量は常時確認しているため除外



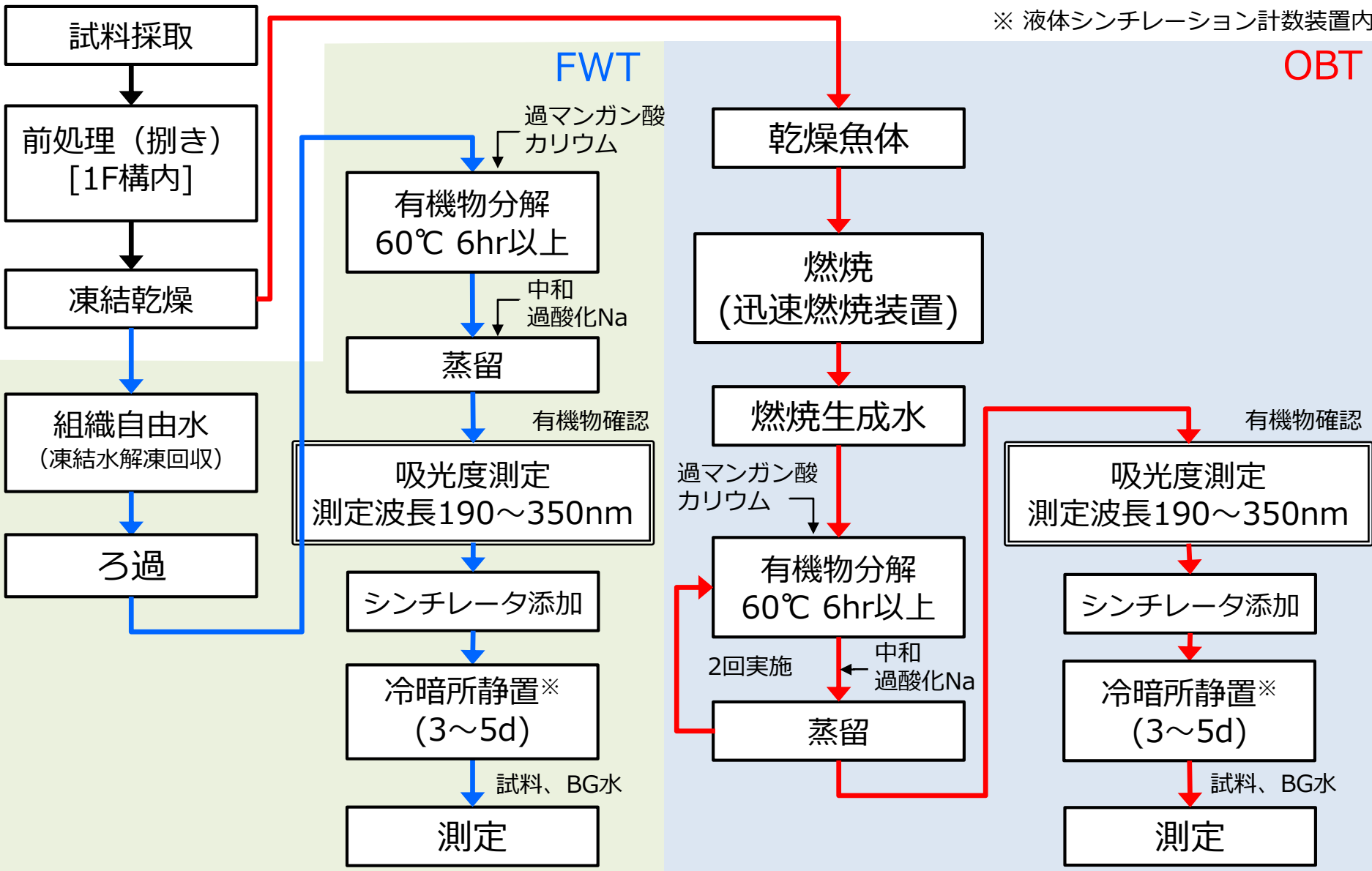
A-2. 1F構内分析施設のレイアウト

- 低濃度試料を扱うことを前提に設計しているが、サブドレン浄化水、地下水バイパス水、ALPS処理水は $1E+2 \sim 1E+6$ Bq/Lのトリチウムを含む（魚のトリチウム： $1E-2 \sim 1E-1$ Bq/L）
- 地下通路北側は、上記試料水の処理は行わない



A-3. 1F構内分析施設の分析手順

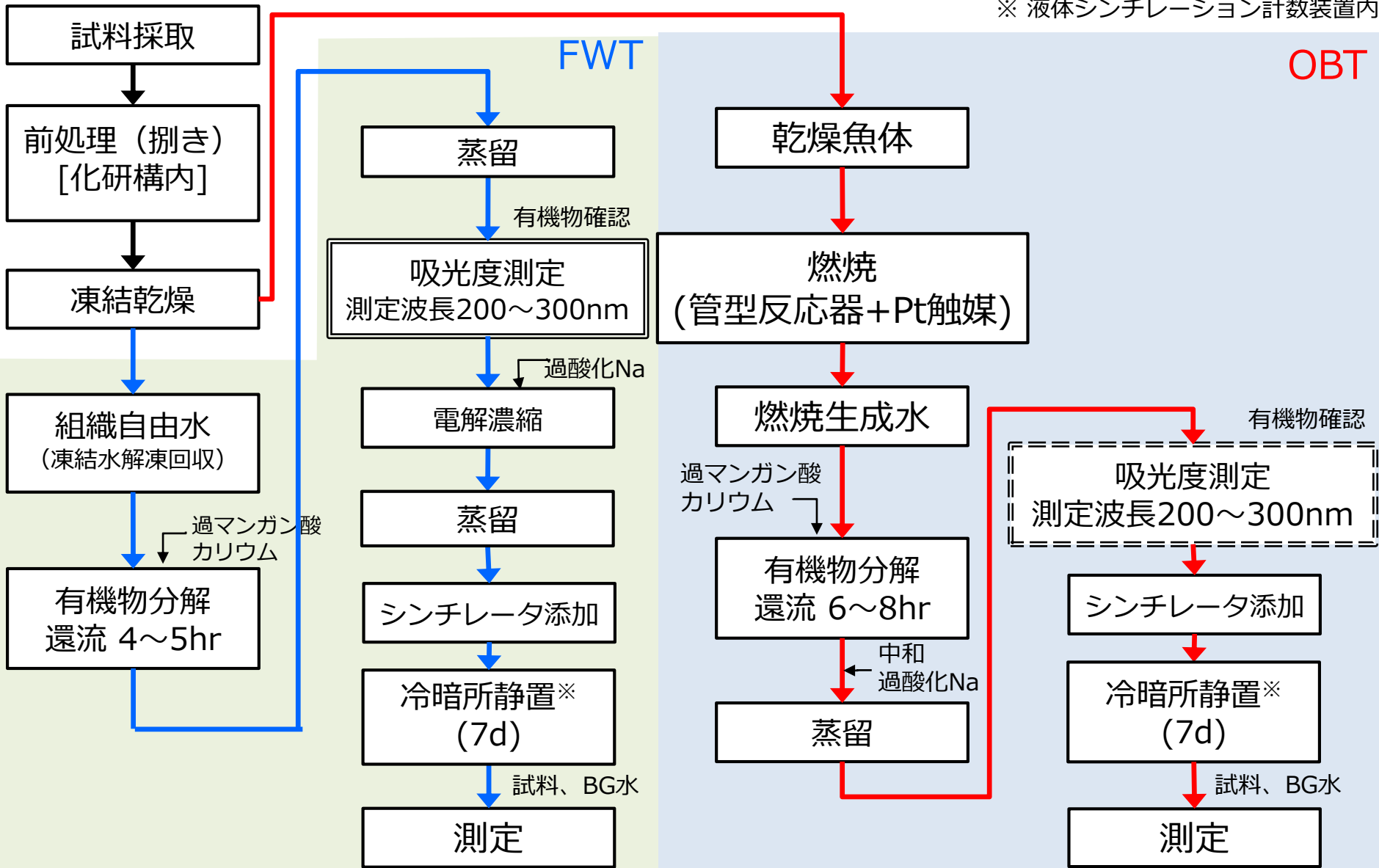
※ 液体シンチレーション計数装置内
OBT



A-4. 化研の分析手順

※ 液体シンチレーション計数装置内

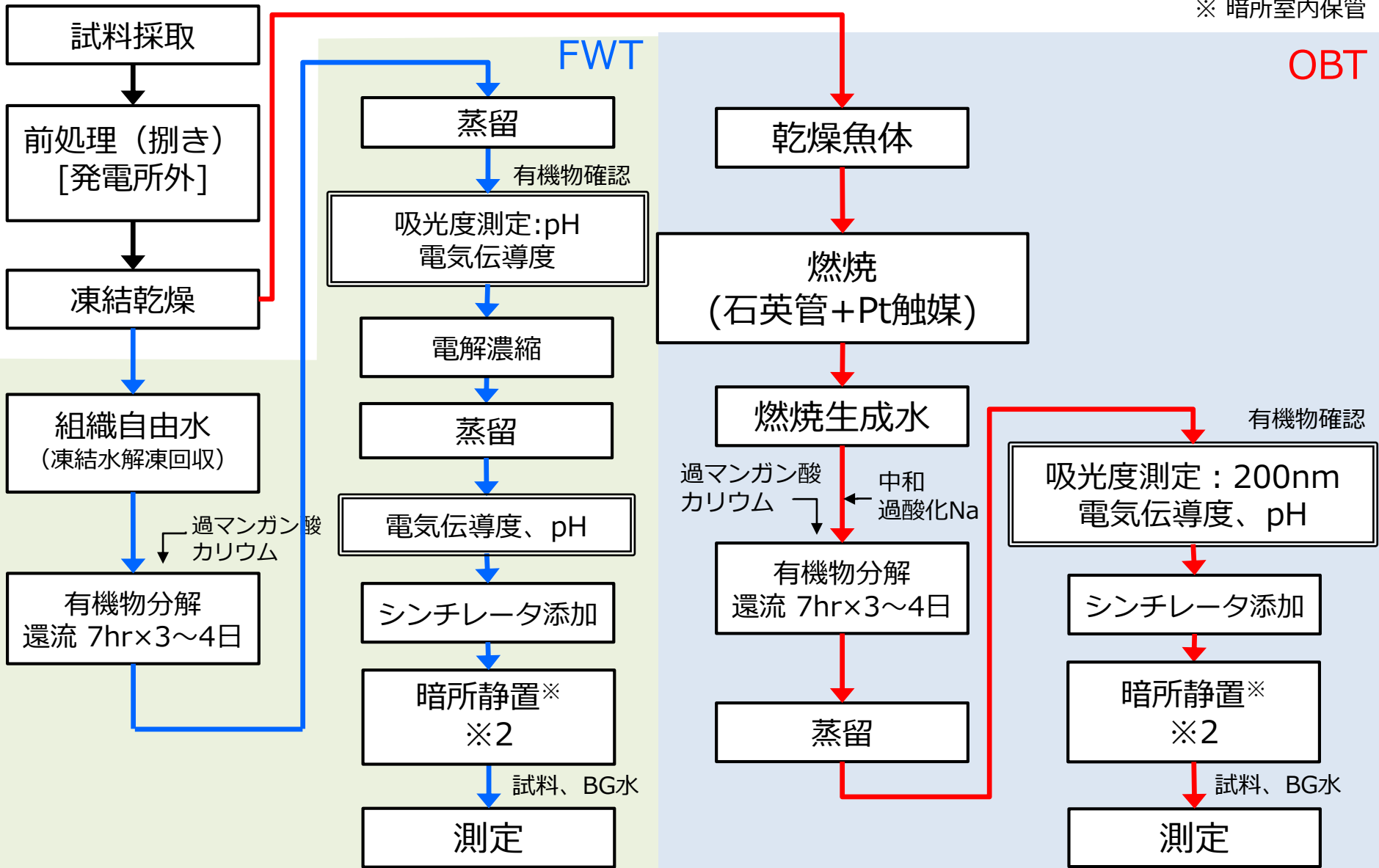
OBT



A-5. 九州環境管理協会の分析手順

※ 暗所室内保管

OBT



※2 電解濃縮を実施する場合は20mL低拡散ポリエチレンバイアルを使用し、6hr以上静置。電解濃縮を実施しない場合は100mLテフロンバイアルを使用し、7d以上静置。

A-6. 有機物分解の条件

- 九州環境管理協会：還流冷却器を使用：KMnO₄ 1g添加、100℃_7時間/日×4日
 - 1F構内分析施設：ナス型フラスコを密栓して使用：KMnO₄ 0.3g添加、60℃_6時間以上
 - 化研：還流冷却器を使用：KMnO₄ 1g添加、100℃_8時間
- (参考) 公定法※：KMnO₄ 試料70mLに対し0.5g添加、100℃_4h以上



九州環境管理協会



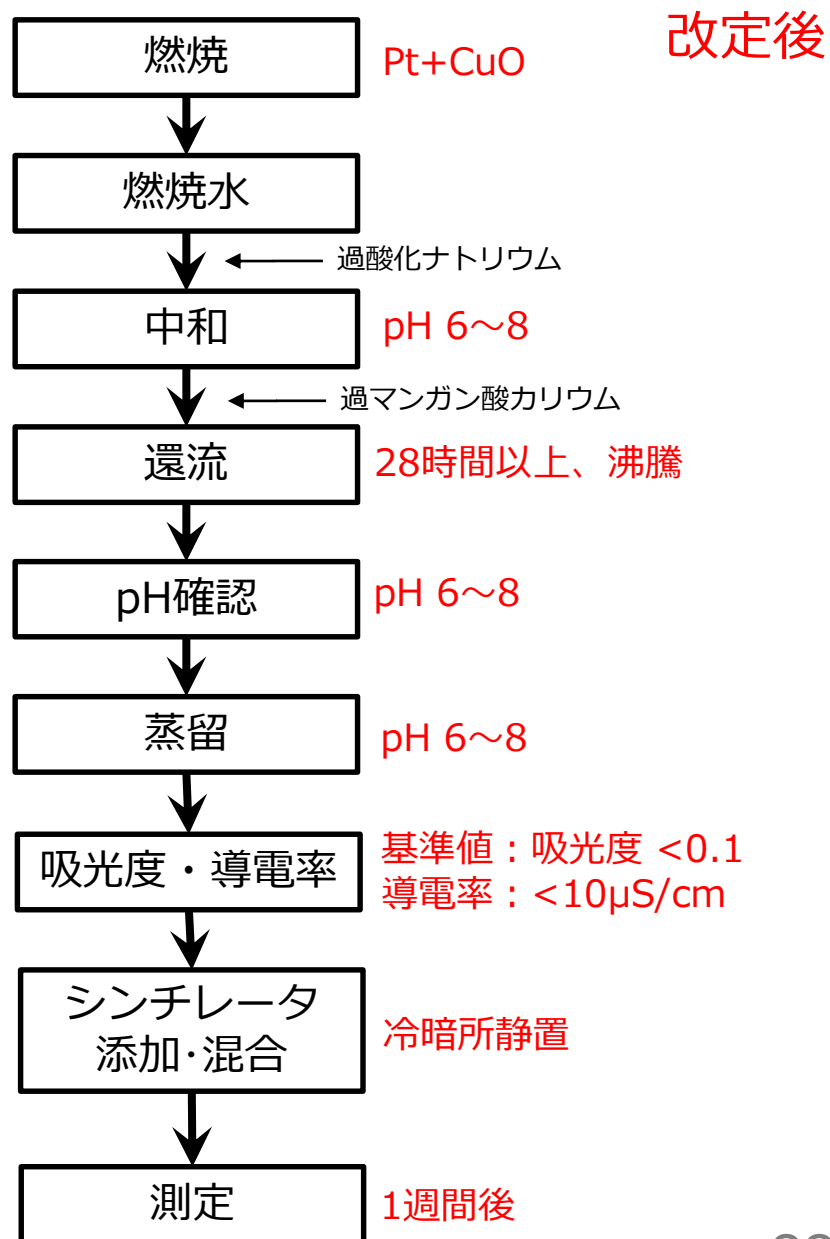
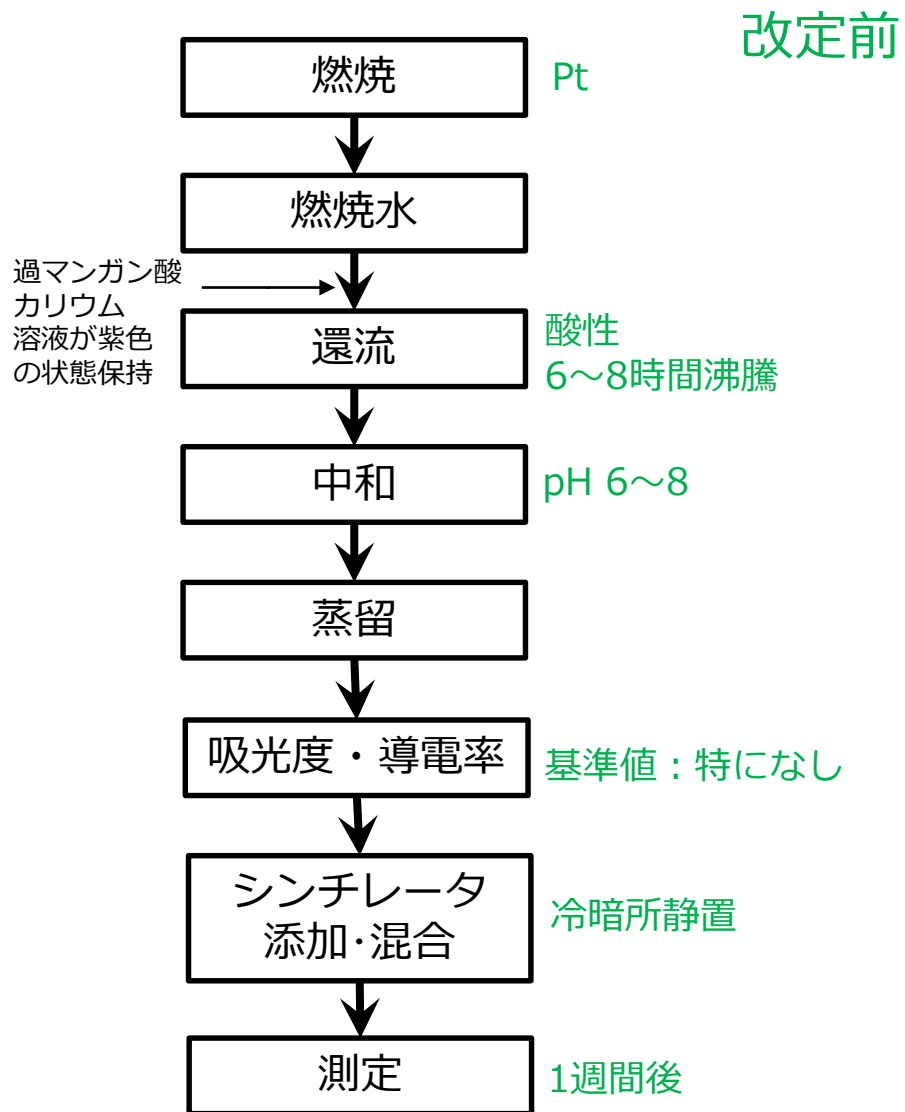
1F構内分析施設



化研

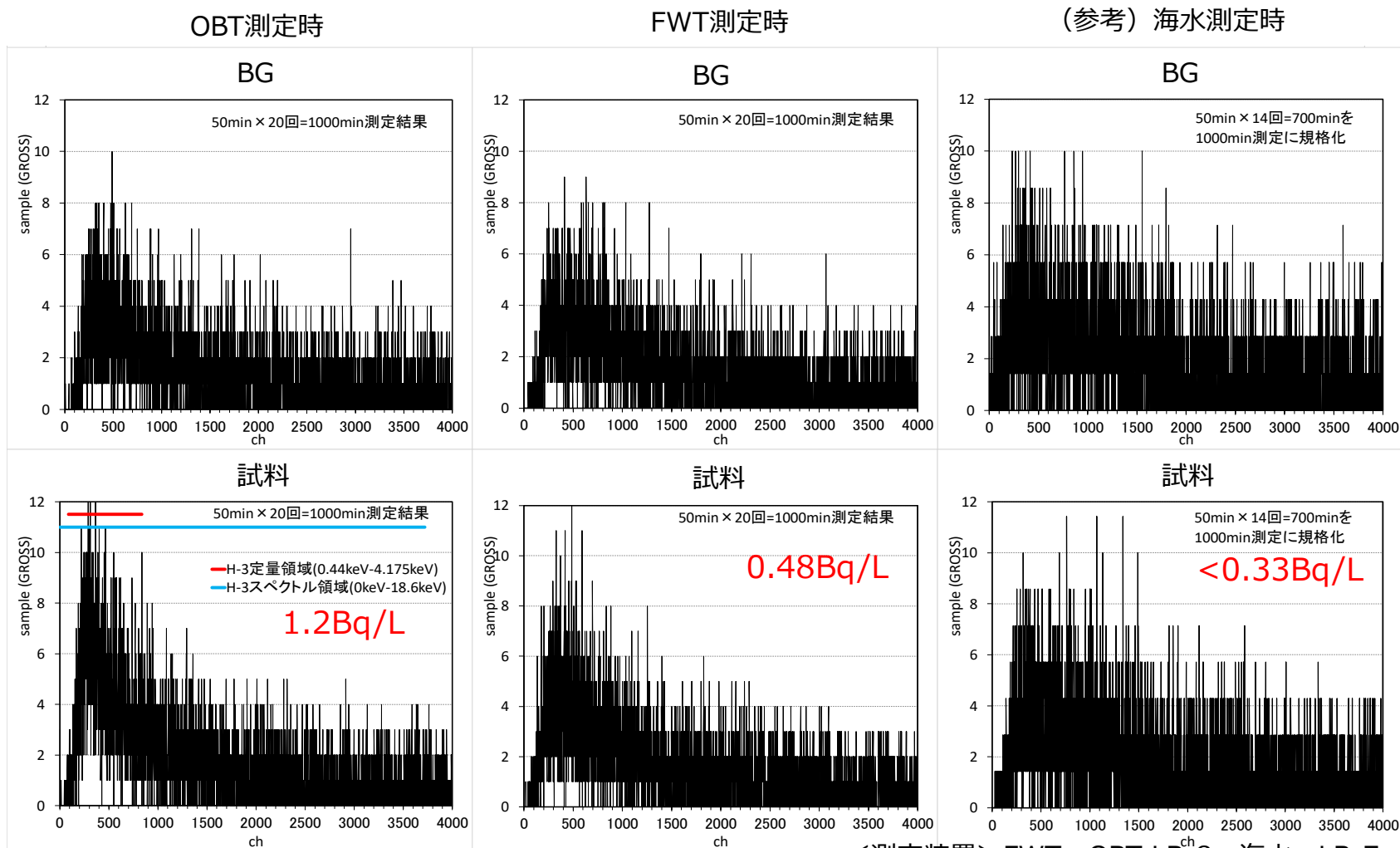
※ 放射能測定法シリーズ9 トリチウム分析法（平成14年改訂）文部科学省

A-7. 化研でのOBTの分析手順の概要



B-1. 魚試料測定時のスペクトル（1F構内分析施設）

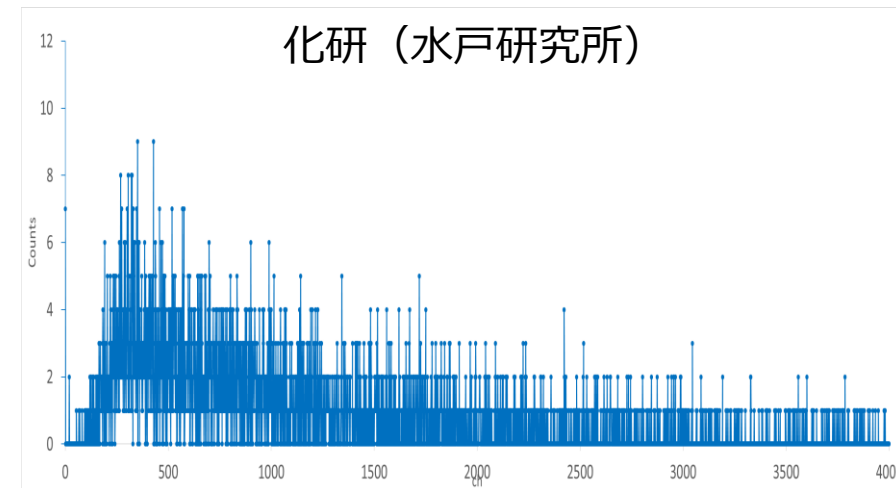
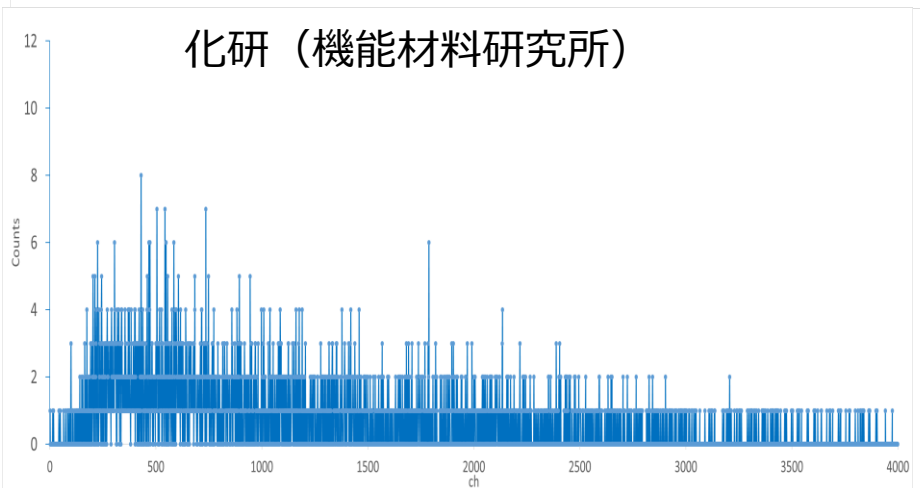
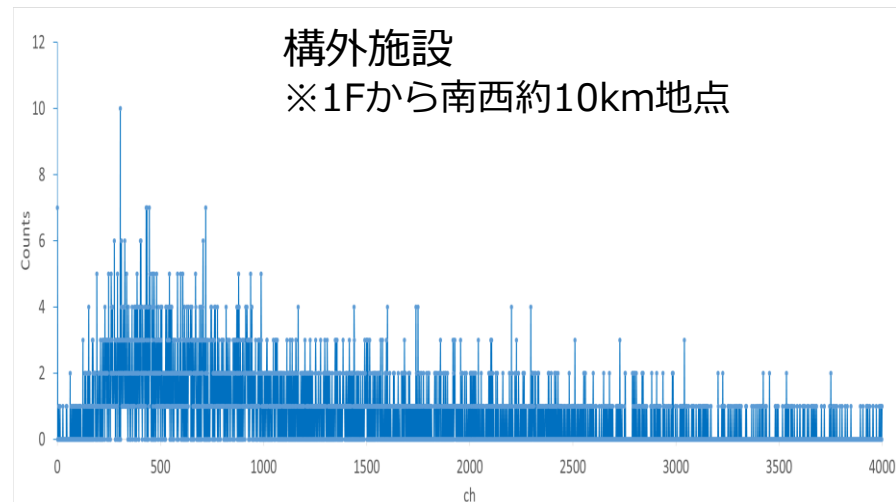
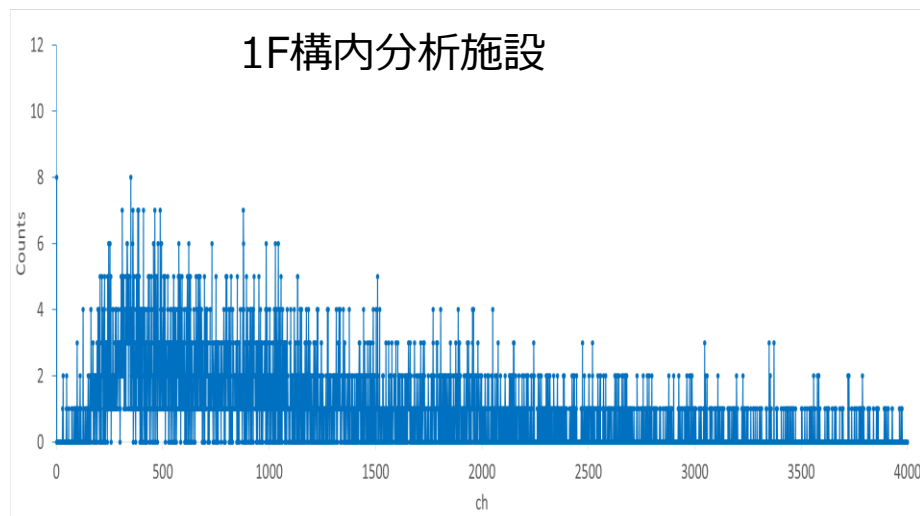
- 5/17に採取した魚試料について、OBT、FWTともにH-3定量領域で有意なピークを確認
- BGスペクトルにもピークの可能性が見られたが、他機関のLSCを利用してBGを計測した結果（次スライド）、測定装置の違いは分析結果に影響をおよぼさないことを確認



<測定装置> FWT、OBT:LB-8 海水:LB-7

B-2. 各施設におけるBGスペクトル

※ 各施設の6~25リピートの積算スペクトル (1~5リピートは除外)

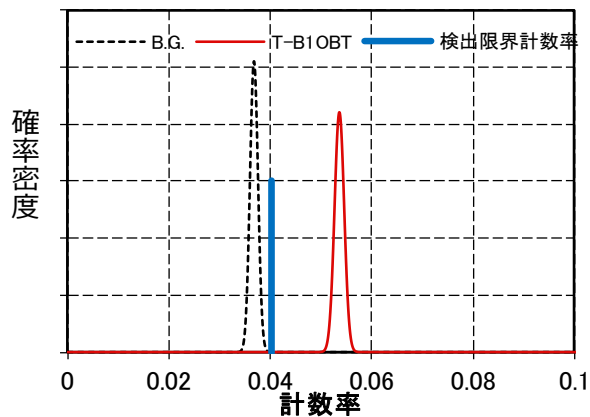


※容器:100mLポリバイアル瓶 (空容器)、測定時間:50分×20サイクル、測定条件: ゲイン「0.005keV/ch」・エネルギー範囲「20keV」・チャンネル数「4000チャンネル」・イオンイザー「あり(0.5min)」・ウェイトタイム「なし」・化学発光補正「なし」

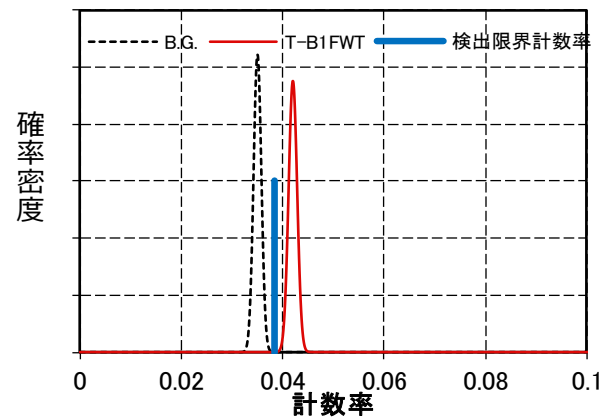
B-3. 魚試料測定時のスペクトルの正規分布評価（1F構内分析施設）

- スライド23の測定結果の統計処理を実施
- 計数から算出される標準偏差はそれほど大きくなく比較的シャープな分布である
- 検出の要因として、標準偏差の広がりによるものではなく、試料の計数率そのものが何かの要因により上昇していることを確認
- 要因として、試料への不純物の混入を推定

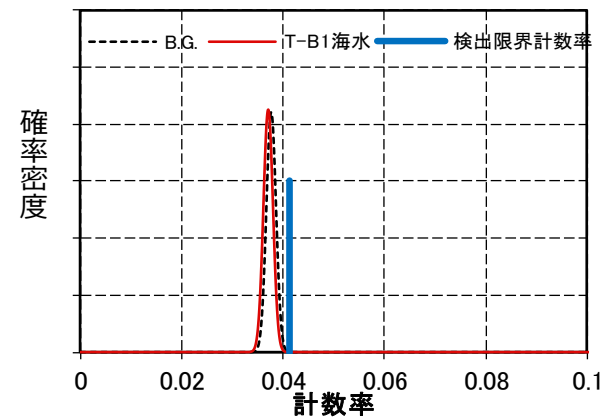
OBT測定時（BG、試料）



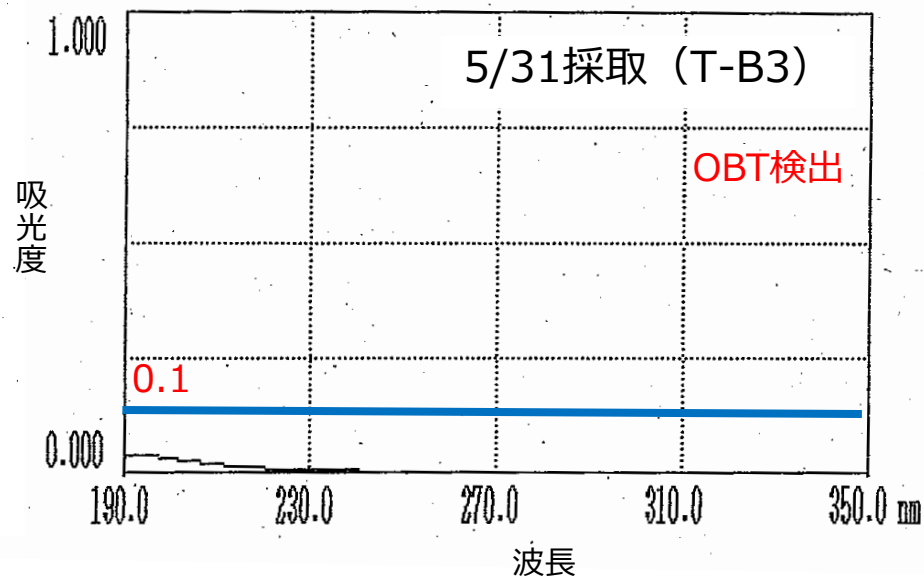
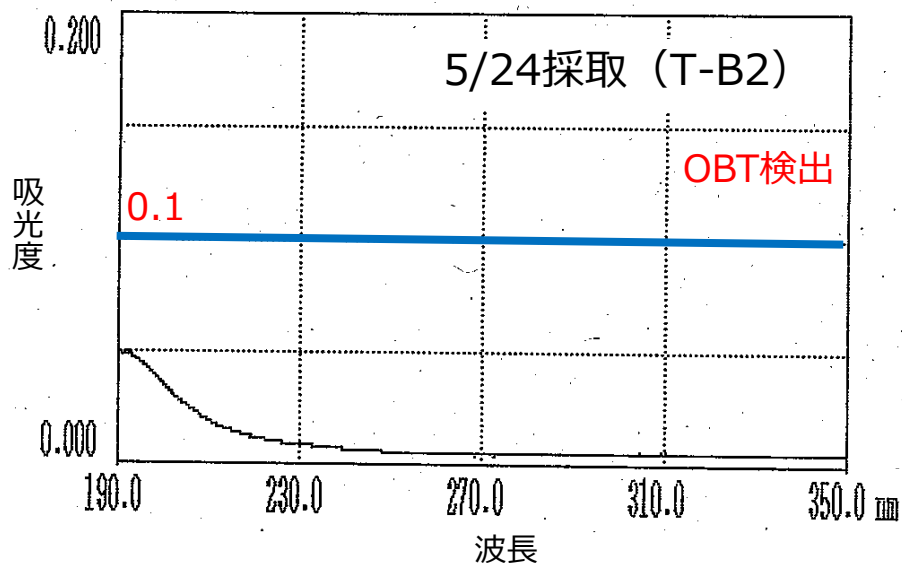
FWT測定時（BG、試料）



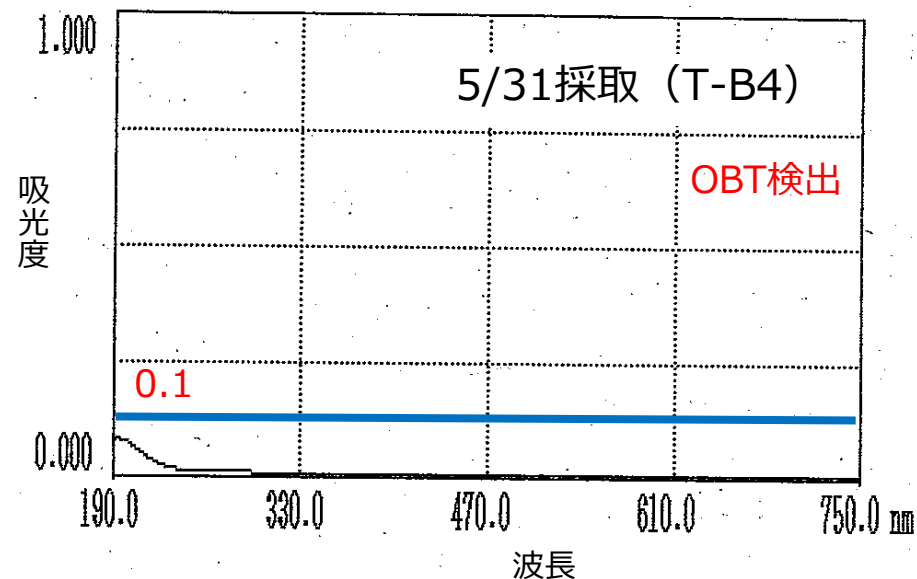
<参考> 海水測定時（BG、試料）



C-1. 吸光度データ（1F構内分析施設）

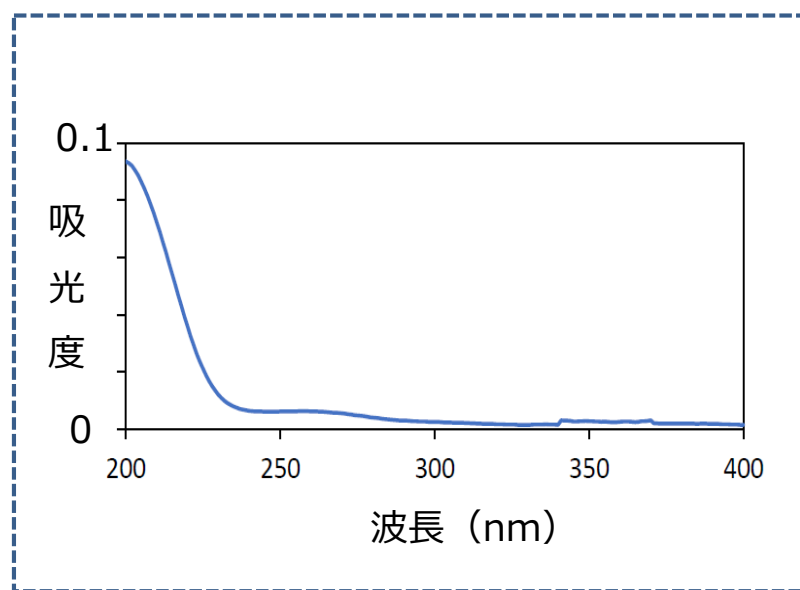


- 実試料の吸光度を確認したところ、200nm近傍の吸光度は <0.1
- 九環協における有機物分解終了の判断基準を満足しているものの、OBTを検出
- 吸光度が <0.1 であっても明らかな紫外線吸収ピークがある場合には、不純物除去の再処理を行う必要ありと判断

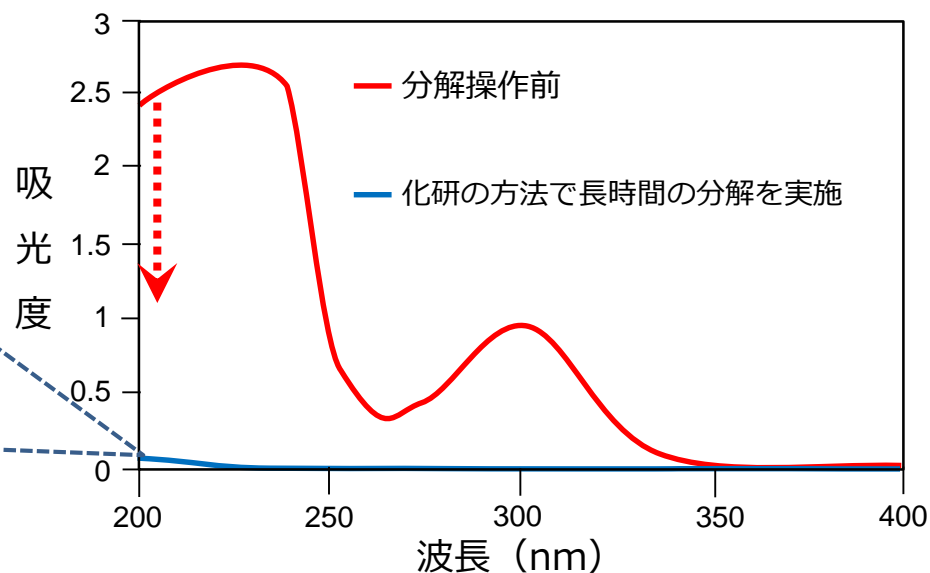


C-2. 吸光度データ（化研）

- 化研の方法で有機物分解を通常よりも長時間実施
- 200nm付近で紫外線吸収ピークを確認
有機物分解の時間を延長することの効果は低い
- なお、本試料ではOBTを検出
吸光度が <0.1 であっても明らかに紫外線吸収ピークがある場合には、再処理が必要と判断



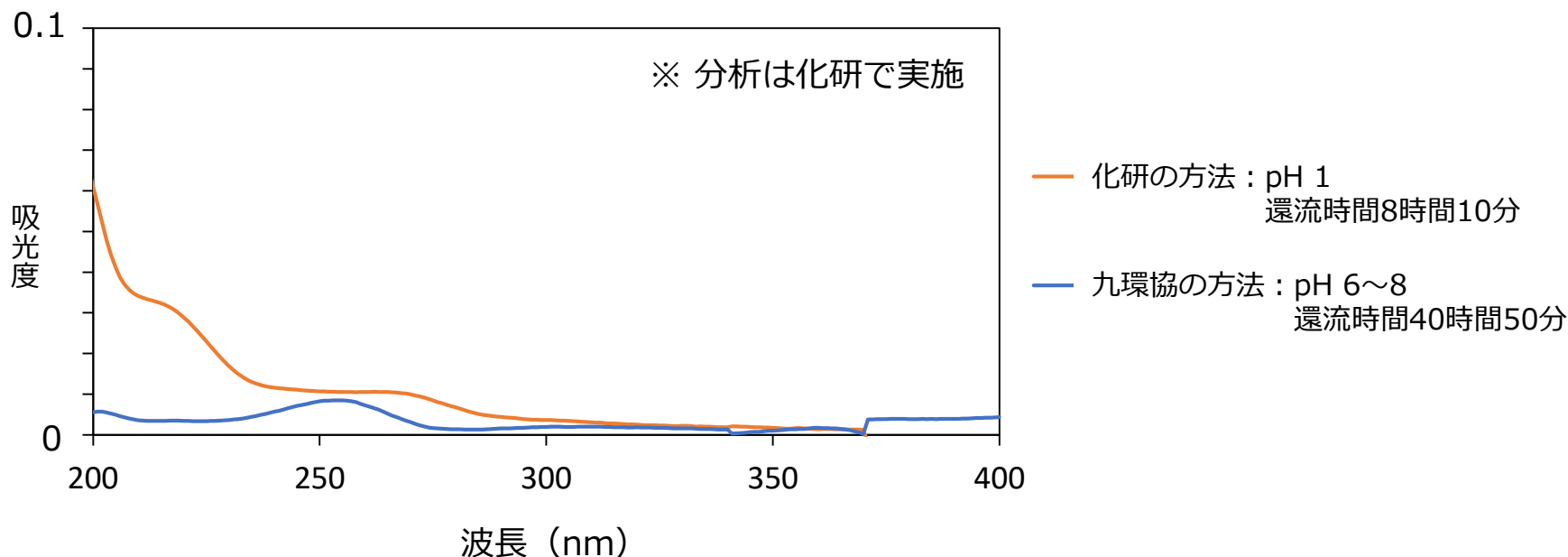
化研の従来の条件（酸性条件）



分解時間：計42時間50分（通常：6～8時間）

C-3. 吸光度データ（化研）

- 化研の方法と九環協の方法で得られた吸光度を比較
- 吸光度 判断基準: <0.1 (200nm)
化研の方法 : 0.056、九環協の方法 : <0.01
- 導電率 判断基準: 10 μ S/cm
化研の方法 : 9.57 μ S/cm、九環協の方法 : 6.21 μ S/cm
- いずれの方法もOBTは未検出であり、吸光度は還流時間の長さによって低下することを確認でき、吸光度の低下のためには還流（有機物分解）操作を十分に確保することが有効と判断

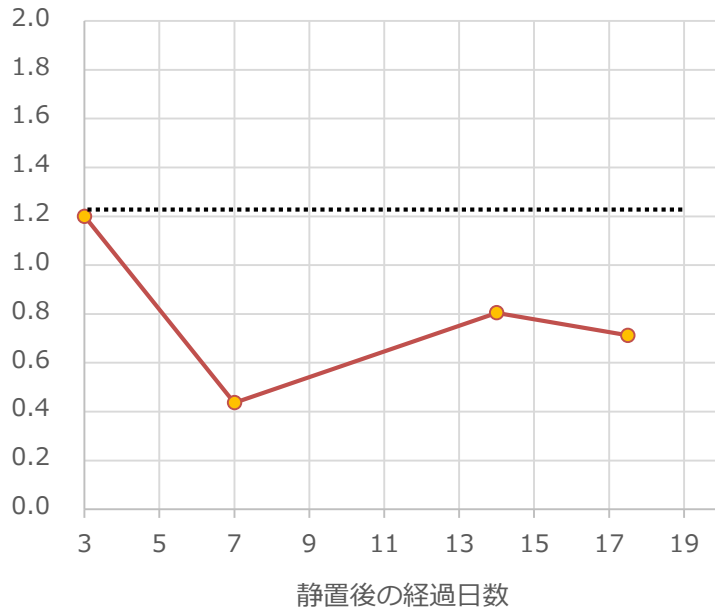


D-1. 経時データ（1F構内分析施設）

- 1F構内分析施設でOBTが検出された測定済みの試料容器に対して、経時的な測定を実施
- 経時的に濃度が低下する試料が見られるものの、低下しない試料も存在
- 化学発光（測定濃度）は時間の経過に伴い減衰（低下）していることから、有機物の活性が経時的に失活することによって減衰したものと推定
- 一方、時間の経過に伴っても減衰が認められない試料（スライド30）は、化学発光の影響ではないと推定（前処理条件、分析環境に起因するものと推定）

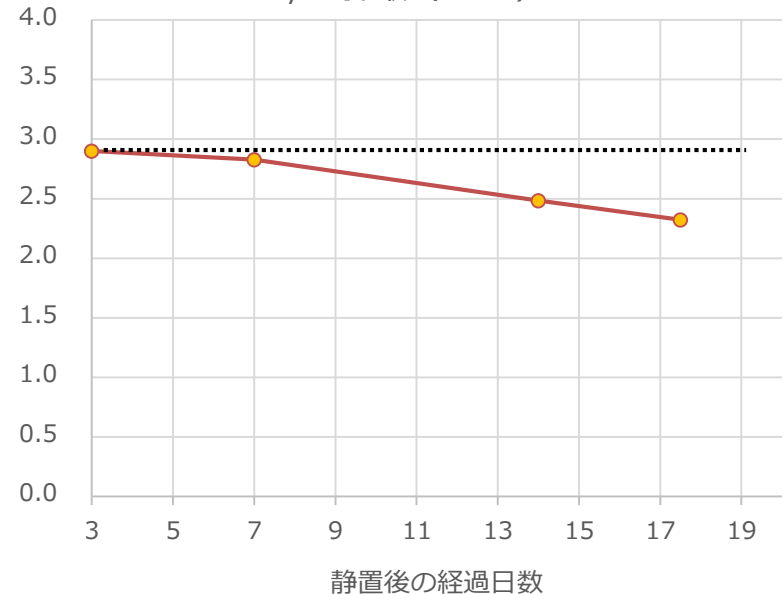
Bq/L (OBT)

5/17採取 (T-B1)



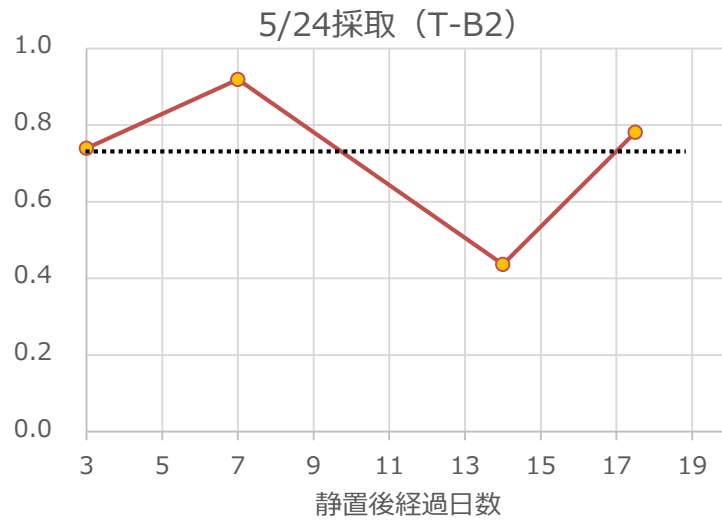
Bq/L (OBT)

5/17採取 (T-B2)

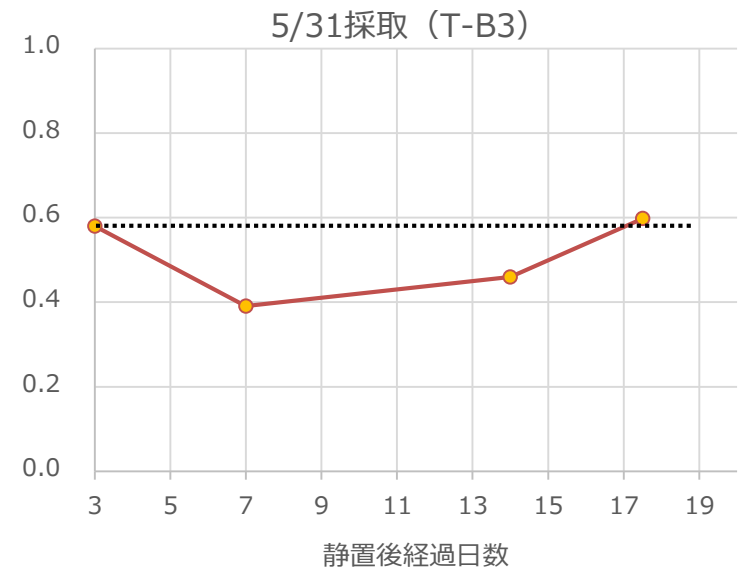


D-2. 経時データ (1F構内分析施設)

Bq/L (OBT)



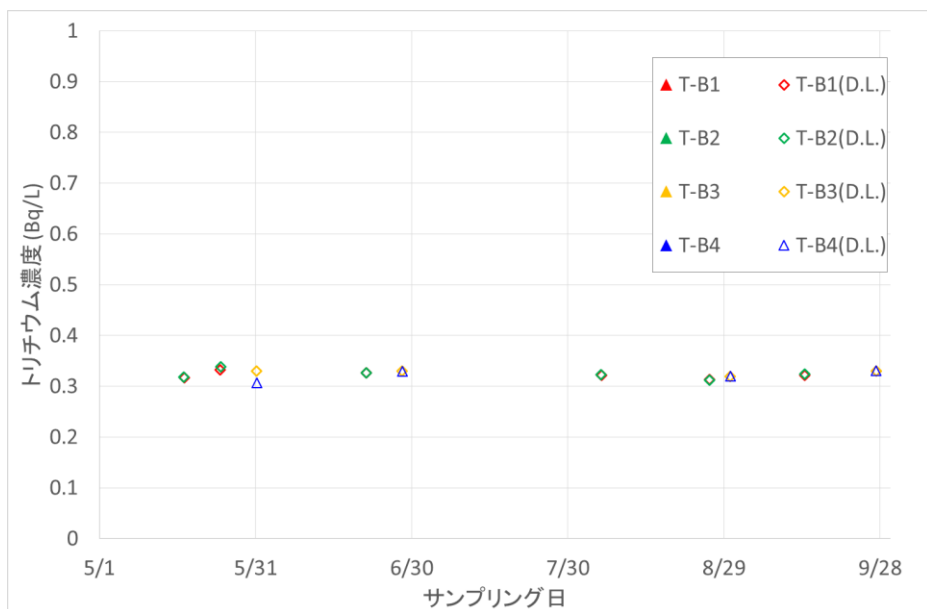
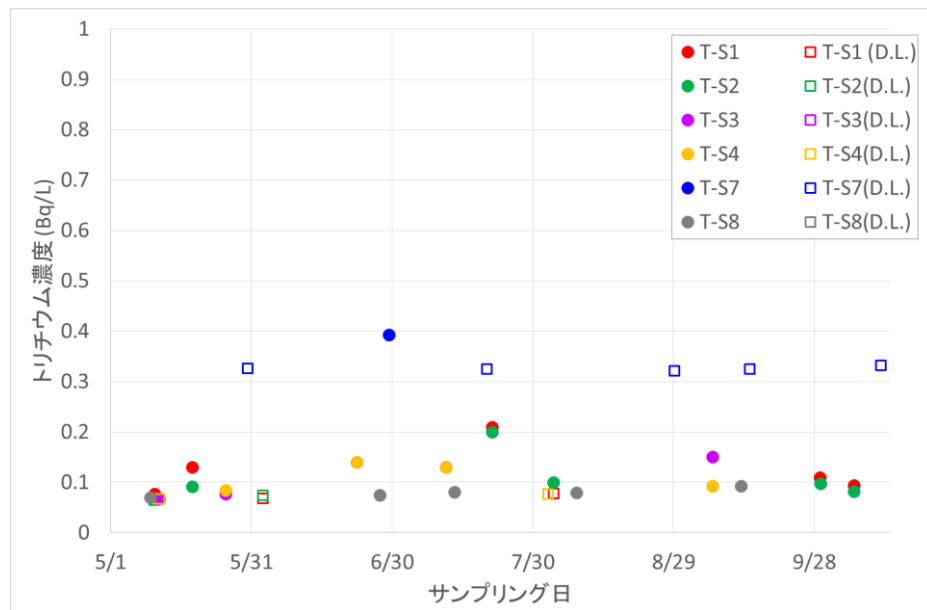
Bq/L (OBT)



【参考】 魚類採取地点のトリチウム濃度の推移（表層海水）

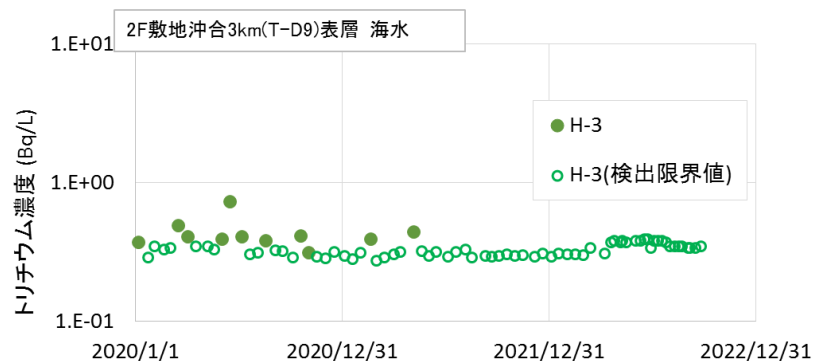
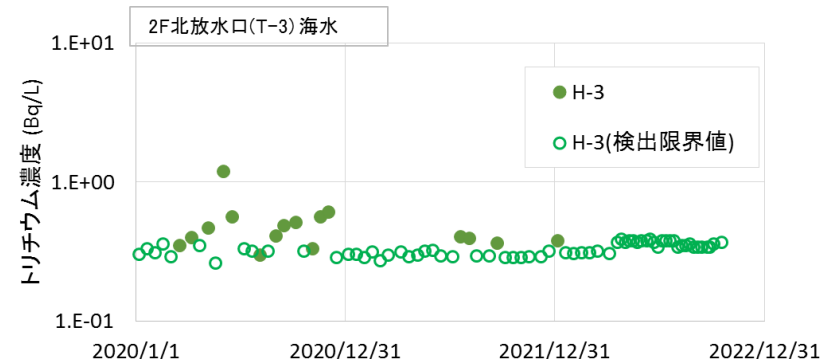
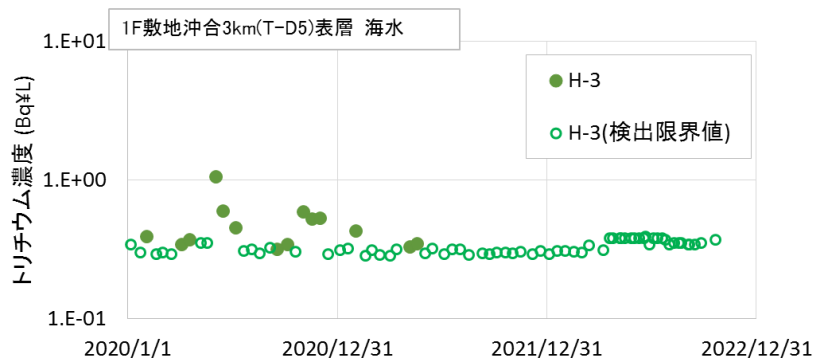
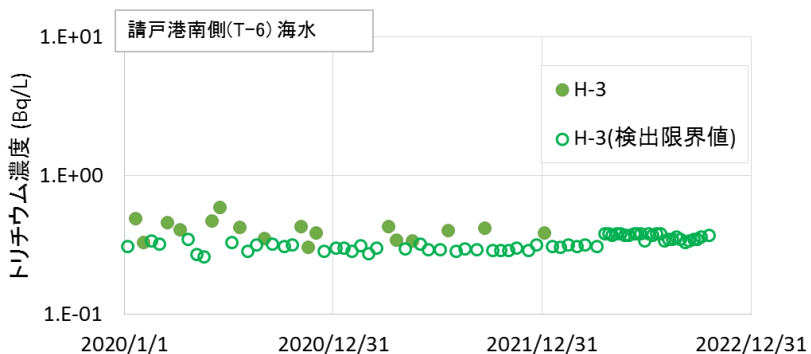
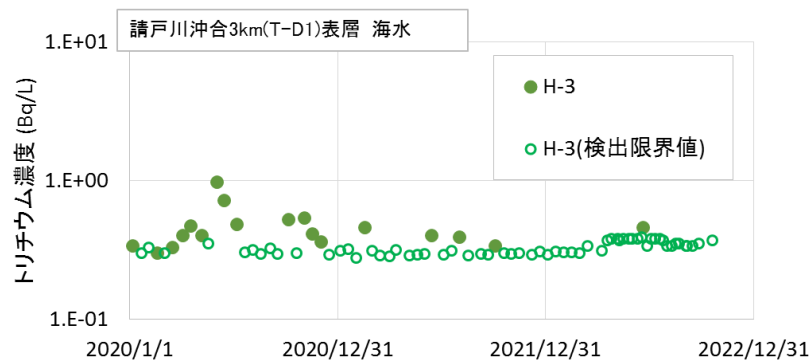
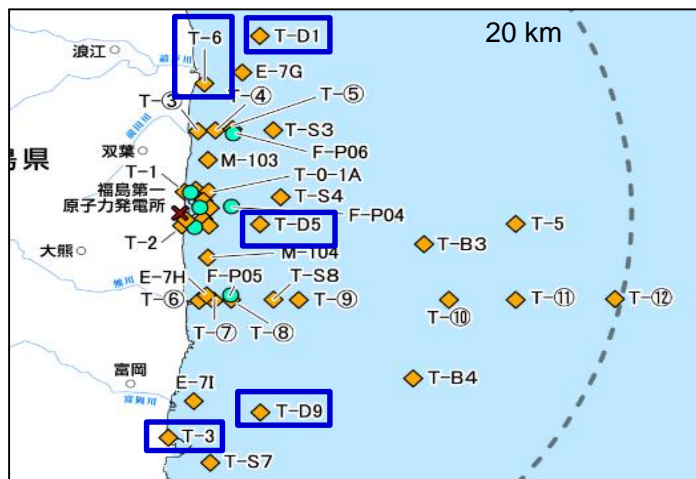


魚類サンプリング調査位置図



- 魚類採取地点のトリチウム濃度の測定はモニタリング強化と同時に開始
- 電解濃縮の有無により測定下限値に差異あり
- 0.5 Bq/L超は観測されていない

【参考】モニタリング地点以外のトリチウム濃度の推移



周辺海域に変動はなく、魚類のトリチウム濃度に影響をおよぼす環境変化は見られない

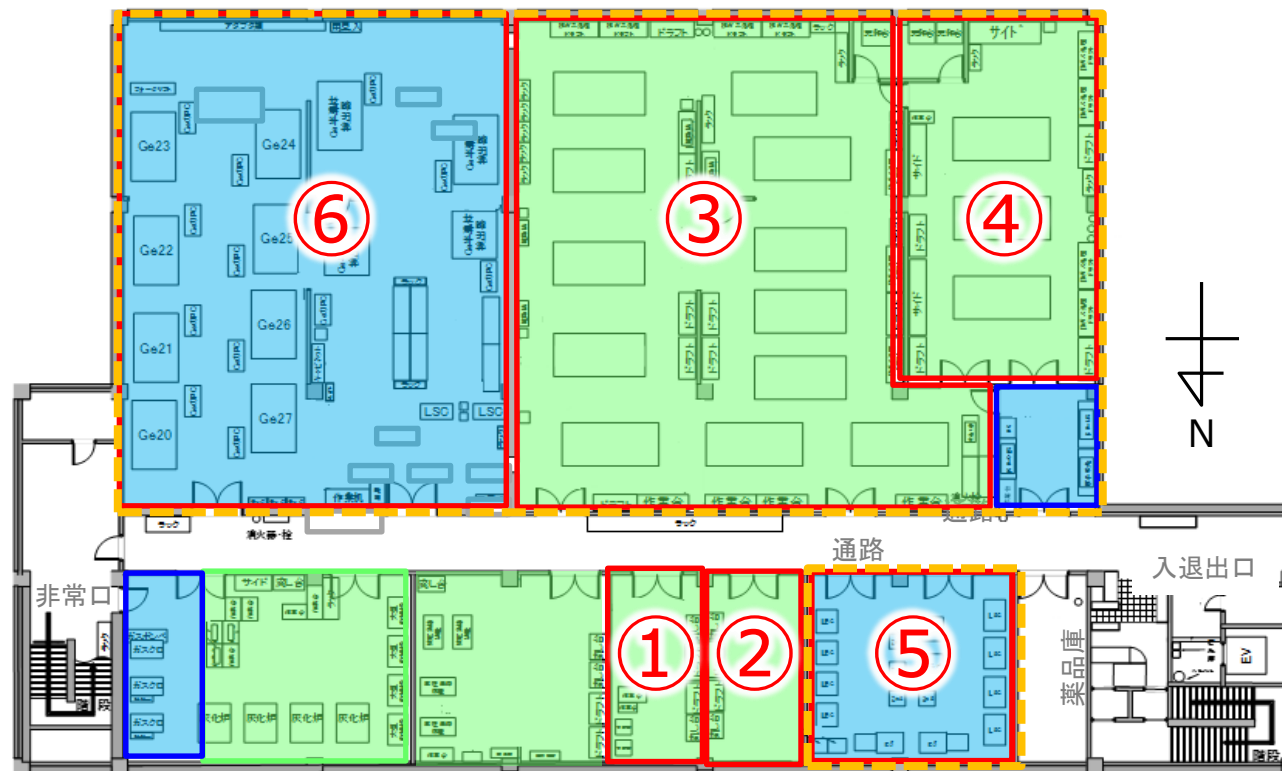
【参考】1F構内分析施設の雰囲気トリチウム濃度

- 除湿器を用いて凝縮水中のトリチウムを測定
- 九環協：ND(0.4Bq/L)～1Bq/L、化研：0.7Bq/L程度に比べると1F構内分析施設は高め

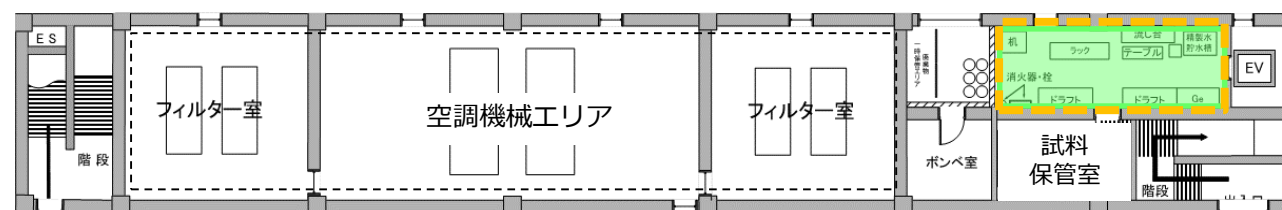
No.	採取エリア	魚のトリチウム分析 作業内容	測定結果 (Bq/L)	備考
①	前処理 エリア	農・畜・海産物 前処理室	3.6	採取日：10/8～10/9 前処理：10/11 測定：10/12
②		土試料前処理室	3.3	採取日：10/7～10/8 前処理：10/8 測定：10/9
③		試料分析室1	2.9	採取日：10/9～10/10 前処理：10/11 測定：10/12
④		試料分析室2	4.3	採取日：10/5～10/7 前処理：10/8 測定：10/9
⑤	測定 エリア	計測室1	5.3	採取日：10/10～10/11 前処理：10/11 測定：10/12
⑥		計測室2	2.8	採取日：10/11～10/12 前処理：10/12 測定：10/13
参考	周辺環境	—	—	大熊町：～4.2Bq/L-水分 双葉町：～2.5Bq/L-水分

【参考】1F構内分析施設の雰囲気トリチウム濃度（採取エリア）

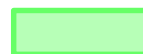
地下1階



1階



: ALPS処理水取扱エリア



: 前処理エリア



: 測定エリア

【参考】3者のデータ

- 当初、当社(1F構内分析施設)および化研の分析値が、周辺海水のトリチウム濃度よりも高い濃度で検出されました。(表1 赤字部)
- 九環協の分析結果は、従来と同様にOBTは検出下限値未満です。(表2)
- 九環協と同様の方法を用いたところ、化研においても、OBTは検出下限値未満となりました。(表3)

表1 当社と化研において分析開始後に確認されたデータ

採取地点	採取日	魚種	周辺海水濃度 (Bq/L)	組織自由水型トリチウム (Bq/L)	有機結合型トリチウム (Bq/L)	分析場所
T-B1	5月17日	ヒラメ	ND(0.33)	0.48	1.2	当社
T-B1	6月21日	ヒラメ	ND(0.33)	ND(0.23)	0.40	当社
T-B2	5月17日	ババガレイ	ND(0.32)	0.58	2.9	当社
T-B2	5月24日	ヒラメ	ND(0.34)	0.45	0.74	当社
T-B2	6月21日	マコガレイ	ND(0.33)	ND(0.23)	-※1	当社
T-B3	5月31日	ヒラメ	ND(0.33)	0.45	0.58	当社
T-B4	5月31日	ヒラメ	ND(0.33)	0.42	0.87	当社
T-S1	5月11日	ヒラメ	0.077	0.11	0.63	化研
T-S2	5月11日	ヒラメ	ND(0.065)	ND	0.96	化研
T-S3	5月12日	ヒラメ	0.067	0.11	0.94	化研
T-S4	5月12日	ヒラメ	ND(0.067)	0.053	0.52	化研
T-S7	5月31日	ヒラメ	ND(0.33)	0.36	0.68	当社

※九州環境管理協会の分析結果は、従来とおり周辺海水濃度と同等以下

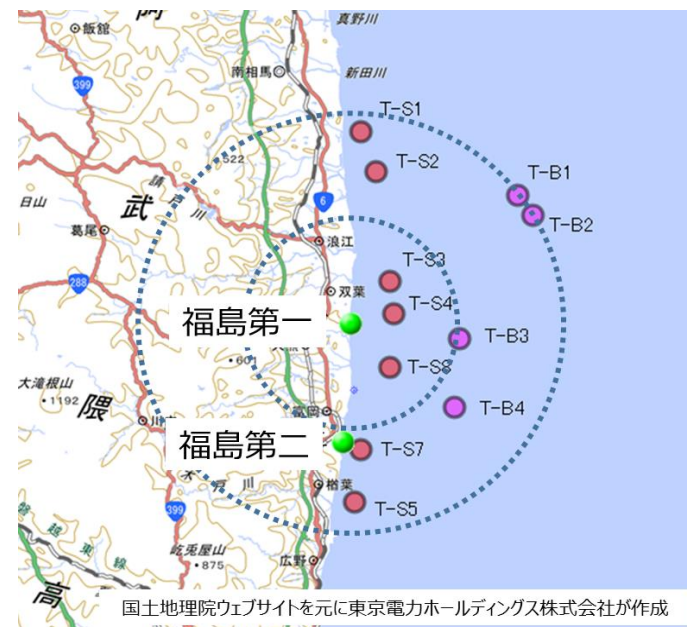
※1 試料不足のため、測定出来ず。

表2 九州環境管理協会のデータ

採取地点	採取日	魚種	周辺海水濃度 (Bq/L)	組織自由水型トリチウム (Bq/L)	有機結合型トリチウム (Bq/L)	分析場所
T-S8	5月10日	ヒラメ	0.070	0.057	ND(0.27)	九環協
T-S8	6月28日	ヒラメ	0.075	0.075	ND(0.27)	九環協

表3 化研のデータ (分析再開後)

採取地点	採取日	魚種	周辺海水濃度 (Bq/L)	組織自由水型トリチウム (Bq/L)	有機結合型トリチウム (Bq/L)	分析場所
T-S1	6月3日	ヒラメ	ND(0.068)	0.15	分析中	化研
T-S2	6月3日	ヒラメ	ND(0.074)	0.12	ND(0.39)	化研
T-S3	6月23日	ヒラメ	0.14	0.12	分析中	化研
T-S4	6月23日	ヒラメ	0.14	0.13	ND(0.27)	化研
T-S5	6月30日	ヒラメ	0.11	0.15	ND(0.28)	化研



魚介類サンプリング調査位置図

-
- 過大に評価した分析値の公開
 - 他の分析値の妥当性

【参考】 過大に評価した分析値の公開

- 魚に含まれるトリチウムの分析は、初めての機会であり、その分析値を確認する作業も初めての取り組みでした。
- 2020年度から、放射能測定法シリーズに示された分析方法をベースに測定準備と分析技術の習得を進めてまいりました。
- 測定準備をととのえたうえで本年5月以降、分析手法の妥当性を確認するべく分析に着手したところ、化研と当社の分析値を比較して大きな乖離がないと判断しました。
- 分析値は、福島第一原子力発電所で測定する放射線等データをすべて公開する「放射線データ全数公開」の枠組みのもと、分析結果を得た8月1日以降、順次公開してまいりました。
- しかし、周辺海水のトリチウムよりも高い濃度で検出されていることから、8月18日に公開データに注釈※を設けて分析値が適当ではないことをお示ししました。

※『過去モニタリングデータと比較し、乖離している結果となったため、事象について調査中である。』を備考に追記

過大評価した分析値の公開原因

これまでの「放射線データ全数公開」の枠組みにしたがって、当社と同じく測定準備を進めてきた化研との分析値の比較が終了した時点で、すぐに分析結果を公表した。



今後の対応

過去のトレンドとの比較、周辺海域の類似ポイントとの比較によって、総合的に判断したうえで分析値を確定し、その結果を公開する

【参考】他の分析値の妥当性

- 魚試料のトリチウム分析は、他の分析試料と異なり、極めて低濃度の分析です。さらに、その分析工程には他の試料とは異なり、燃烧作業のような煩雑な工程を含みます。
- 海水等のトリチウムを分析する構内分析施設では、ISO/IEC_17025の認定を取得しています。また、IAEAが提供する技能試験※には毎年参画し、良好な結果を得ています。
- γ線放出核種に対しても、セシウムの分析にてISO/IEC_17025の認定を受けていることから、分析値には問題ないと考えています。
- その他の分析に対しては、発電所廃棄物や研究施設廃棄物の放射能濃度確認分析としてJAEAで開発してきた実績のある分析方法などを導入してまいりました。それぞれの分析手法は、拠所を精査するとともに、標準線源などを用いた検証試験を実施し導入してまいりました。
- これらから、魚試料のトリチウムの分析以外の分析値については、妥当性があると考えています。



※ Proficiency Test : IAEAによる線源を添加した試料を用いた試験

認定対象

公共水域水、排水、土壌、灰及び汚泥の放射性核種 (Cs134/Cs137 及び H-3を含む)