

ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設の新設について ALPS処理水審査会合（第9回）

2022年3月15日



東京電力ホールディングス株式会社

ALPS処理水の海洋放出設備の申請内容等に係る主要な論点※

に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第3回）資料1-2

（2－1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点）

（2）海洋放出時の保安上の措置

①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

（1）海洋放出設備

③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護、誤操作防止、信頼性等

ALPS処理水の海洋放出設備の申請内容等に係る主要な論点※

に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第3回）資料1-2

（2－1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点）

（2）海洋放出時の保安上の措置

①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

- トリチウム（H-3）、炭素（C-14）及びALPSによる除去対象62核種以外に線量評価に影響を与える核種を選定するための方針を説明すること。

1. ALPS処理水の測定対象核種に関する検討概要

2 - 1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

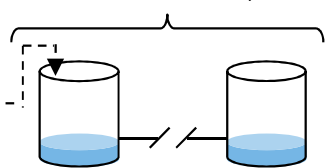
1.1 検討概要

- ALPS処理水の海洋放出では、下図に示す②測定・確認工程で希釈放出前に放出基準（ALPS処理水に含まれるトリチウム以外の放射性物質の告示濃度限度比総和が1未満）を満たしていることを確認する計画としている。
- 当該工程で確認する核種は、ALPS処理水を海洋放出するに当たり、廃止措置や埋設施設の知見を踏まえ、改めて徹底的に検証した上で、放出前に確認する必要がある核種を選定する。
- 選定の過程で、低エネルギーの放射線のため、測定が困難かつ人体への影響が小さい核種が検討対象として加わることが予想されるが、本検討を実施する中で、これらの核種がALPS処理水の線量評価に影響を与え得るかを確認する。

①受入工程

ALPS処理水貯留タンク等よりALPS処理水を空のタンク群で受入れる。

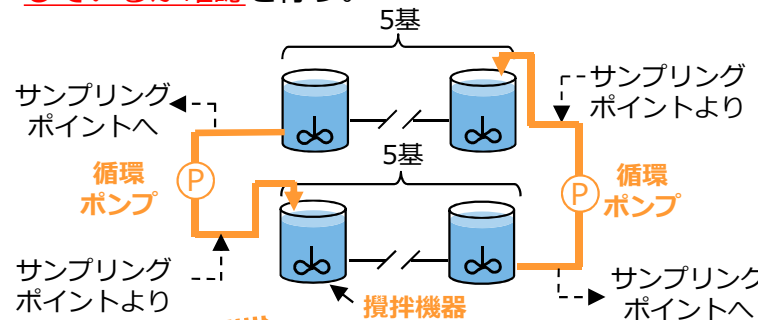
1群 (10基: 約10,000m³)



※: 受入については既設の移送配管を使用

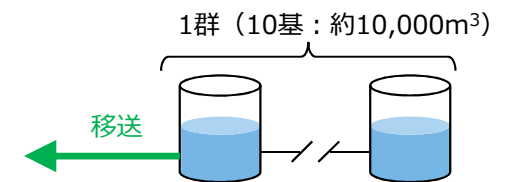
②測定・確認工程

攪拌機器・循環ポンプにてタンク群の水質を均一化した後、サンプリングを行い、放出基準を満たしているか確認を行う。



③放出工程

放出基準を満たしていることを確認した後、ALPS処理水を移送設備により希釈設備へ移送する。



ALPS処理水は、排水前に測定・確認用設備において、H-3及びH-3以外の放射性核種を分析し、H-3以外の放射性核種が基準を満たしていることを確認するとともに、H-3濃度を低減させるために、希釈設備にて海水で希釈した上で排水する

(実施計画: III-3-2-1-2)

1.2 検討の方向性

- 海洋放出に当たり、福島第一原子力発電所（以下、「1F」という）の建屋滞留水等に有意に含まれる可能性のある核種について、改めて徹底的に検証する。具体的には下記の内容で検討を進める。

検討の方向性

- 1～3号機の燃料及び構造材を考慮して、下記の核種分析並びにインベントリ評価を実施した上で、両者の結果及び線量評価への影響を踏まえて、放出時の測定対象核種を選定する。

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、建屋滞留水等に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

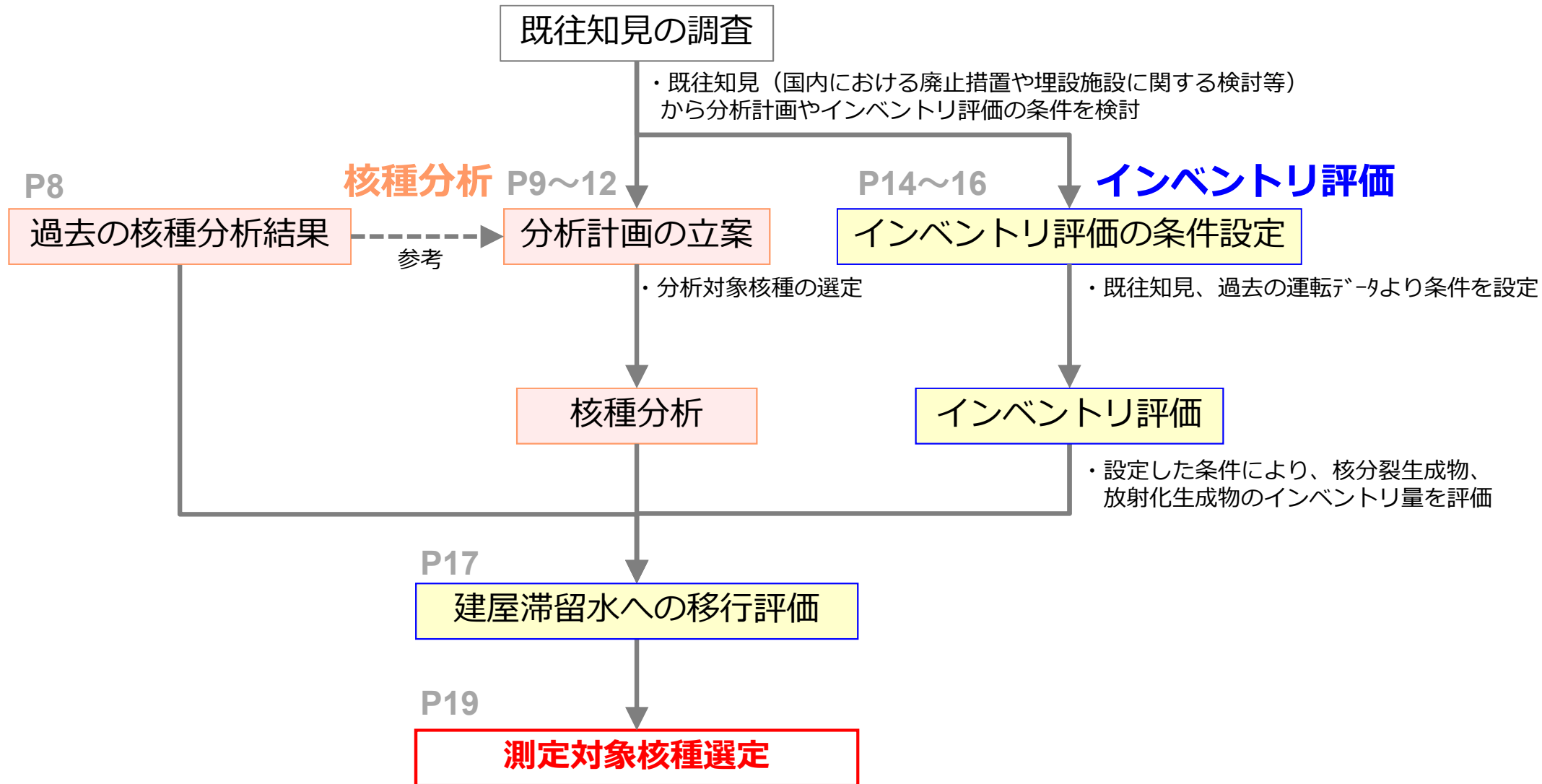
- ALPS除去対象核種検討時と同様に核分裂生成物のインベントリ評価を実施すると共に、廃止措置や埋設施設に関する研究を参考に、原子炉圧力容器内の構造物等の放射化により生成するインベントリ量を評価する。なお、評価に当たっては、震災後から放出までに12年経過したことを考慮して、減衰によるインベントリ量の減少を考慮する。
上記評価結果から、水への移行しやすさ等を考慮した上で、建屋滞留水中に含まれる可能性のある核種の存在を確認する。

- なお、本検討では、 α 核種についても核種分析、インベントリ評価を実施するが、これは建屋滞留水に含まれる可能性のある α 核種の性状を確認することが目的であり、実際の運用ではこれまで通り全 α で測定を行う。

2 - 1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

【補足】 検討の全体像

- 検討の方向性をまとめると下図の通り。



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

2. 汚染水、処理水の核種分析について

2 - 1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

2.1 過去の核種分析結果

- ALPS処理水等の核種分析は、至近に当社で測定を実施しているALPS除去対象核種（62核種）、H-3、C-14以外に、JAEA殿及び当社で20核種を分析している（JAEA殿、当社にて公表済み※）。
- 測定対象核種の検討に当たっては、これら過去の分析結果を考慮すると共に、必要に応じて追加で分析を計画する。

※<https://frandli-db.jaea.go.jp/FRAnDLi/>にて公表（一部、当社が公表しているデータを引用して掲載）

核分裂生成物：56核種

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

腐食生成物：6核種

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

左記以外の核種：2核種

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

64核種以外の核種：20核種

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

過去の核種分析核種一覧

2.2 分析計画における既往知見

- 今回、改めて実施する核種分析では、廃止措置や埋設施設に関する研究において着目されている核種が、建屋滞留水等に有意に存在するか否か確認する。
- 確認した既往知見は下記の通り。

- 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』

- 既往知見における評価対象核種には、ALPS除去対象核種検討時に確認した核種も多く含まれることを確認。そのため、以下観点で分析計画を立案。

- 既往知見から抽出した核種のうち、これまで評価が出来ていない核種（ただし、半減期が短く、減衰によるインベントリ量が十分減少する核種を除く）

2 - 1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

2.3 既往知見から抽出した分析候補核種 (α核種以外)

- 先の既往知見より、α核種以外の分析対象核種を下表の通り抽出。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。
- 下表で抽出した核種は、1F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。

No.	文献 (P9)	候補核種	壊変 形式	エネルギー [MeV]	告示濃度限度 [Bq/cm ³]	測定方法 (案)	備考
1	①～③	Cl-36	β-	0.709550	9.0E-01	前処理 (分離、沈殿) 後、 低バックグラウンド計数装置	分析検討中 社外にて分析実績有※1
2	①、③	Se-79	β-	0.150630	2.0E-01	前処理 (分離、沈殿、再溶解) 後、 液体シンレーションカウンタ	社外にて分析実績有※1
3	①～③	Zr-93	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)	
4	③	Pd-107	β-	0.034000	2.0E+01		
5	①～③	Ca-41	EC	0.003310	4.0E+00	前処理 (分離、ろ過、蒸発乾固) 後、 Si (Li) 検出器	社外にて分析実績有※1
6	①、②	Fe-55	EC	0.005900	2.0E+00	前処理 (分離) 後、 低バックグラウンド光子測定装置 (LEPS)	
7	①～③	Ni-59	EC	0.006930	1.0E+01		
8	②	Nb-93m	IT	0.016615	7.0E+00		
9	①、③	Mo-93	EC	0.016615	3.0E-01		
10	③※2	Sn-121m	β- IT	0.359800 0.026359	2.0E+00		※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
11	①、②	Ba-133	EC	0.356013	5.0E-01	ゲルマニウム半導体検出器 (Ge)	

※1: Cl-36: 検出限界未満 (8.0E-03~1.4E-01Bq/cm³: 2011~2015年)、Ca-41: 検出限界未満 (2.0E+01~1.7E+02Bq/L: 2011~2013年)

Se-79: 滞留水では2.2E-01~8.3E+00Bq/cm³で検出 (2011~2013年)、ALPS入口~出口では検出限界未満 (5.0E-02~3.0E-01Bq/cm³: 2013~2017年)

2 - 1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

2.4 既往知見から抽出した分析候補核種 (α核種)

- 同様に、α核種についても、既往知見から分析候補核種を抽出。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。
- これらを分析することで、建屋滞留水中に有意に含まれる可能性のあるα核種を確認する。

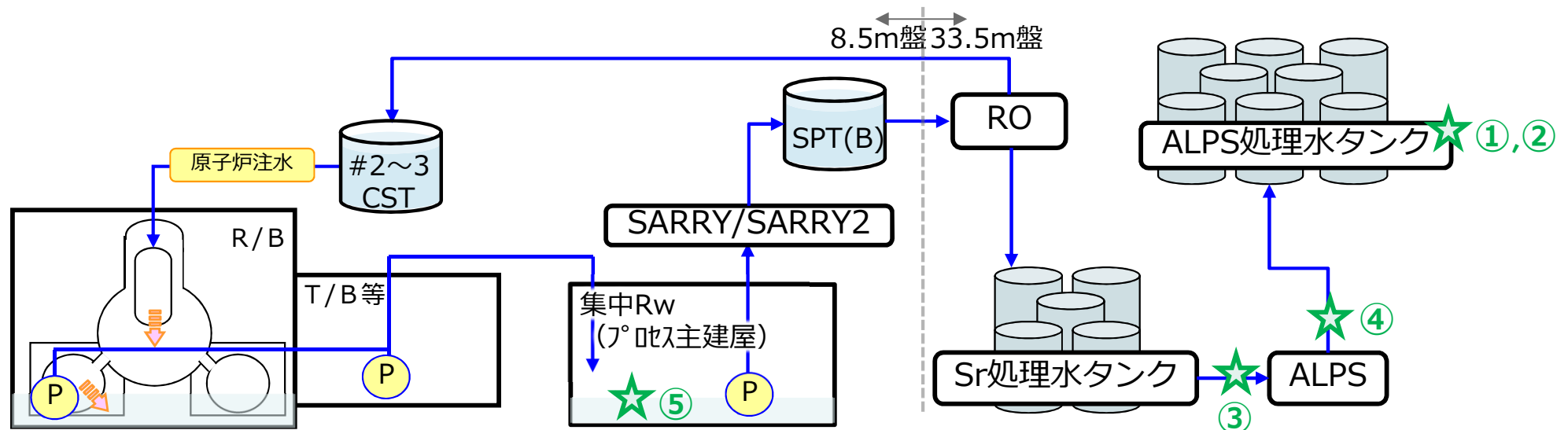
No.	文献 (P9)	候補核種	壊変形式	エネルギー [MeV]	告示濃度限度 [Bq/cm ³]	半減期 [y]	測定方法 (案)	備考
1	③	U-233	α	4.824200	2.0E-02	1.6E+05	前処理 (分離) 後、 誘導結合プラズマ 質量分析装置 (ICP-MS)	社外にて分析実績有(N.D.)
2	①、③	U-234	α	4.774600	2.0E-02	2.5E+05		社外にて分析実績有
3	①、③	U-235	α	4.395400	2.0E-02	7.0E+08		社外にて分析実績有
4	①、③	U-236	α	4.494000	2.0E-02	2.3E+07		社外にて分析実績有
5	①、③	U-238	α	4.198000	2.0E-02	4.5E+09		社外にて分析実績有
6	①、③	Np-237	α	4.788000	9.0E-03	2.1E+06		社外にて分析実績有
7	①~③	Pu-238	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
8	①~③	Pu-239	α	5.156590	4.0E-03	2.4E+04		
9	①~③	Pu-240	α	5.168170	4.0E-03	6.6E+03		
10	①~③	Pu-241	β-	0.020780	2.0E-01	1.4E+01	—	
11	①、③	Pu-242	α	4.902300	4.0E-03	3.8E+05	前処理 (分離) 後、 αスペクトロメータ	社外にて分析実績有(N.D.)
12	①~③	Am-241	α	5.485560	5.0E-03	4.3E+02		Am-241~Am-243はALPS除 去対象核種
13	①、③	Am-242m	IT	0.018856	5.0E-03	1.4E+02	—	Am-241とAm-243はI補正が 近い合算値で測定 Am-242mは同位体により濃 度を推定
14	①、③	Am-243	α	5.275300	5.0E-03	7.4E+03	前処理 (分離) 後、 αスペクトロメータ	
15	③	Cm-242	α	6.112720	6.0E-02	4.5E-01		Cm242~Cm-234はALPS除 去対象核種
16	③	Cm-243	α	5.785200	6.0E-03	2.9E+01		Cm-243とCm-244、Cm- 245とCm-246はI補正が近 いため合算値で測定
17	①、③	Cm-244	α	5.804770	7.0E-03	1.8E+01		Cm-245、Cm-246は社外に て分析実績有
18	③	Cm-245	α	5.361100	5.0E-03	8.4E+03		
19	③	Cm-246	α	5.386500	5.0E-03	4.7E+03		

2-1(2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

2.5 分析試料

■ 前頁までに抽出した分析候補核種について、下表の試料の分析で確認を実施中。

No.	採取箇所	目的	選定理由
①	K4タンク群 (ALPS処理水)	ALPS処理水中に有意に存在しない (ALPSで除去されている) ことを 確認するため	構内に貯留されているALPS処理水で最も告示 濃度比総和が低い
②	H4-E7タンク (ALPS処理水)		ALPS処理水タンクの中で、C-14の測定値が 最も大きい
③	増設ALPS処理前 (Sr処理水)	ALPS処理前に有意に存在するこ とが確認された核種が、ALPS処理後 には除去されていることを確認する ため	ALPS処理前の水の性状を確認
④	増設ALPS処理後 (ALPS処理水)		③と同時期のALPS処理後の水の性状を確認
⑤	プロセス主建屋 (建屋滞留水)	建屋滞留水中に有意に存在する核種 を確認するため	建屋滞留水の性状を確認



3. 核分裂生成物、放射化生成物の検討

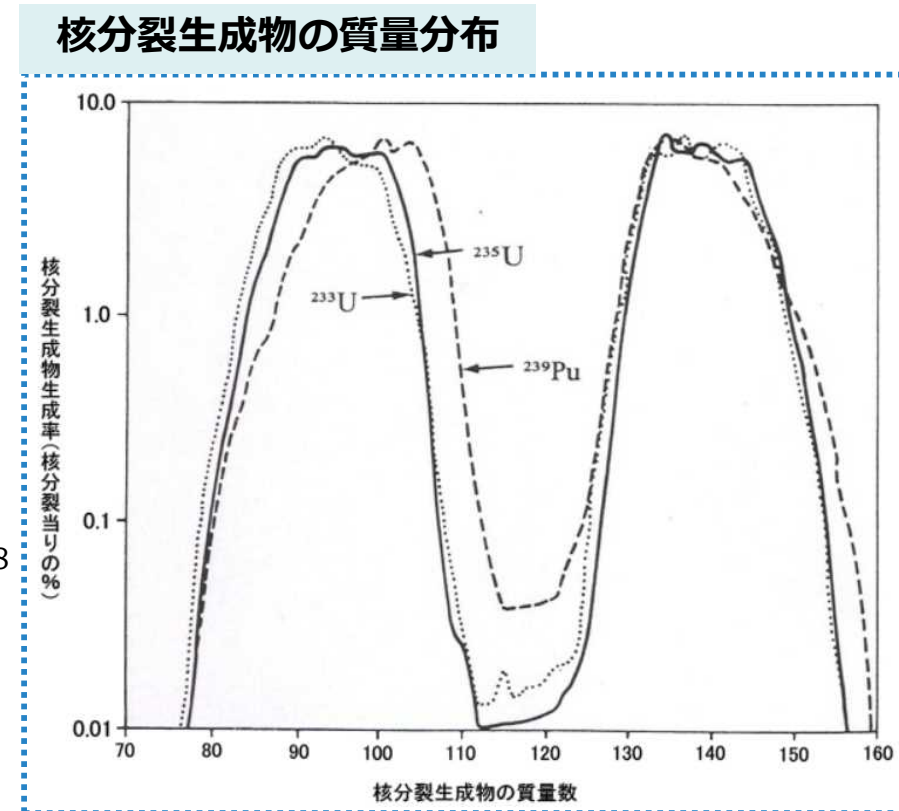
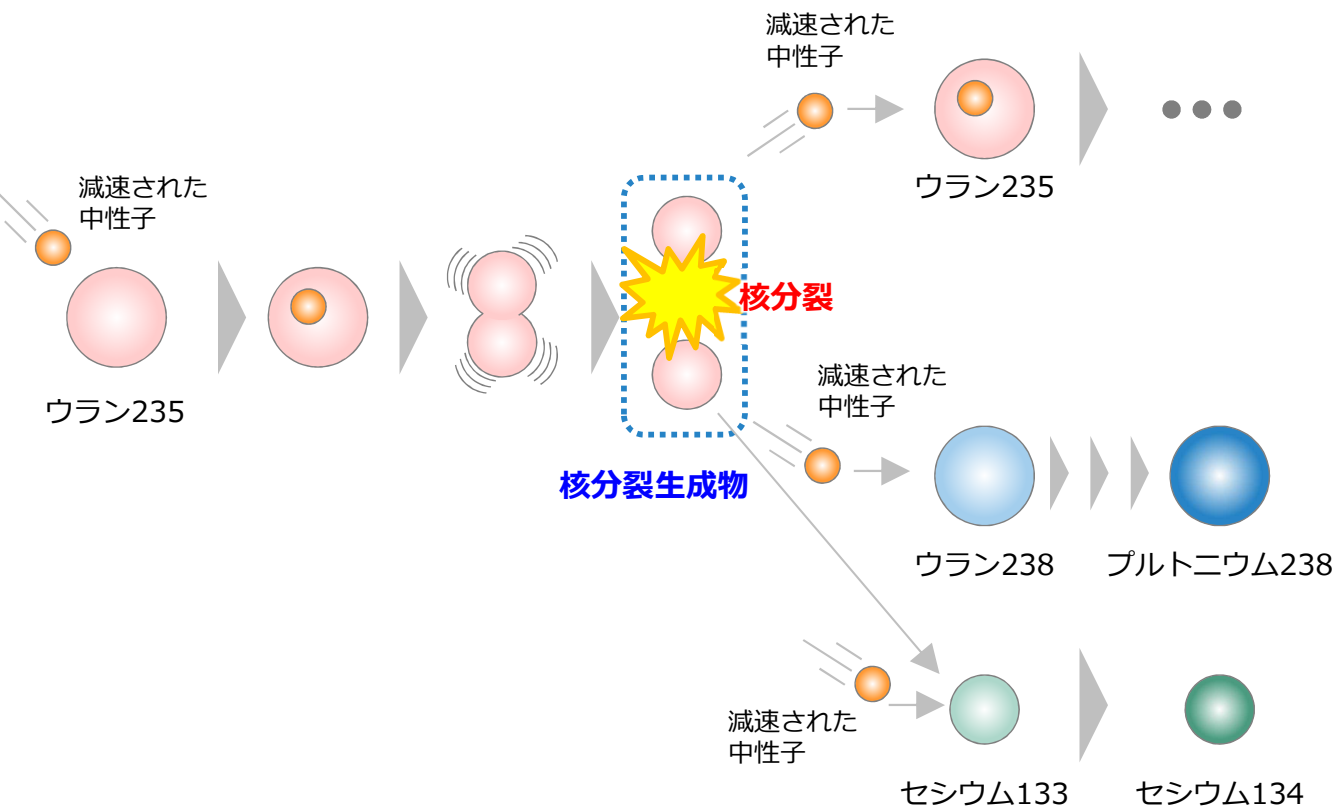
3.1 インベントリ評価の概要

- 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で核分裂生成物を評価している（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。
- 本検討では上記2つの評価を参考に、下表の通り検討を進める。なお、使用するコードは、過去の評価と同様にORIGEN※とする。

※：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

No.	評価	内容
1	核分裂生成物評価	<p>通常の原子炉発電所の安全評価を参考（ALPS除去対象核種検討時と同様）に、1F-1～3の原子炉圧力容器内に装荷されていた燃料の条件および、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。</p> <p>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。</p>
2	放射化生成物評価	<p>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、以下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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 炉内構造物 ・ 燃料体（核燃料物質除く） ・ 圧力容器 ・ ペDESTAL <p>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。</p> <p>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。</p>

- ALPS除去対象核種検討時と同様に、核分裂により発生する生成物を評価すると共に、今回は2011年3月から12年間経過することを踏まえた減衰を考慮して評価する。
- 本評価では、主に以下の現象によって生成、壊変、減損されるインベントリ量を評価する。
 - ウラン235が核分裂する際、主に質量数95と140付近をピークに2つの核種に分裂する。
 - 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する。



参考：エネ百科「ウランの核分裂とプルトニウムの生成・核分裂」
環境省 原子炉内の生成物

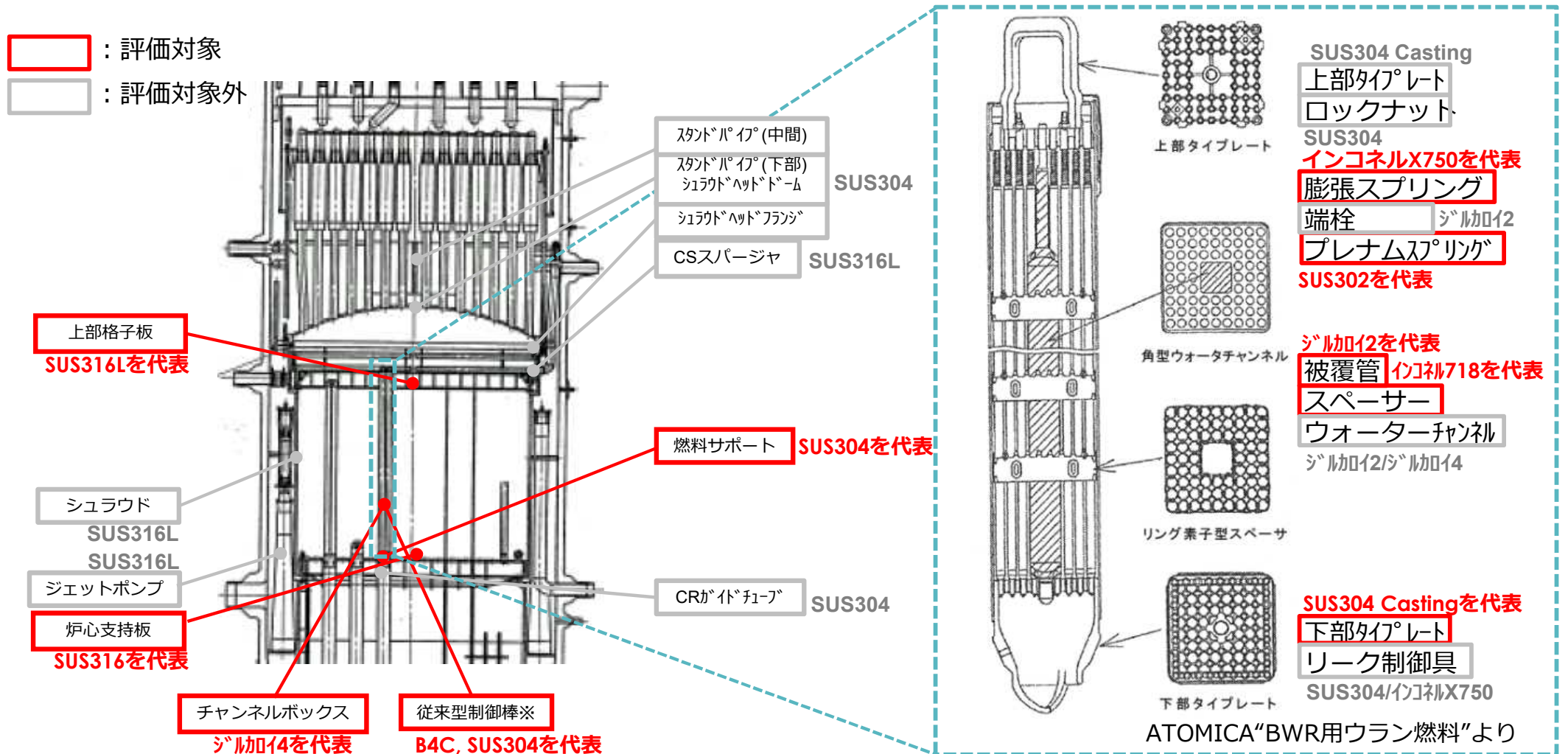
ATOMICA「核分裂生成物の質量数分布」より
出典：W.マーシャル編：原子炉技術の発展（上）、裳華房、P72

2-1(2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

3.3 インベントリ評価の概要（放射化生成物）

- 放射化生成物の評価では、材料に中性子が吸収されることによって生じる放射化を計算によって評価する。なお、本評価では、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。

: 評価対象
 : 評価対象外



※震災時、1F-1~3の炉内にHf型制御棒が存在しないことを確認

BWR炉内構造物点検評価ガイドライン“BWR炉内構造物構造図”より

炉内構造物インベントリ評価の対象

燃料体（核燃料物質除く）の
インベントリ評価の対象

3.4 建屋滞留水への移行評価

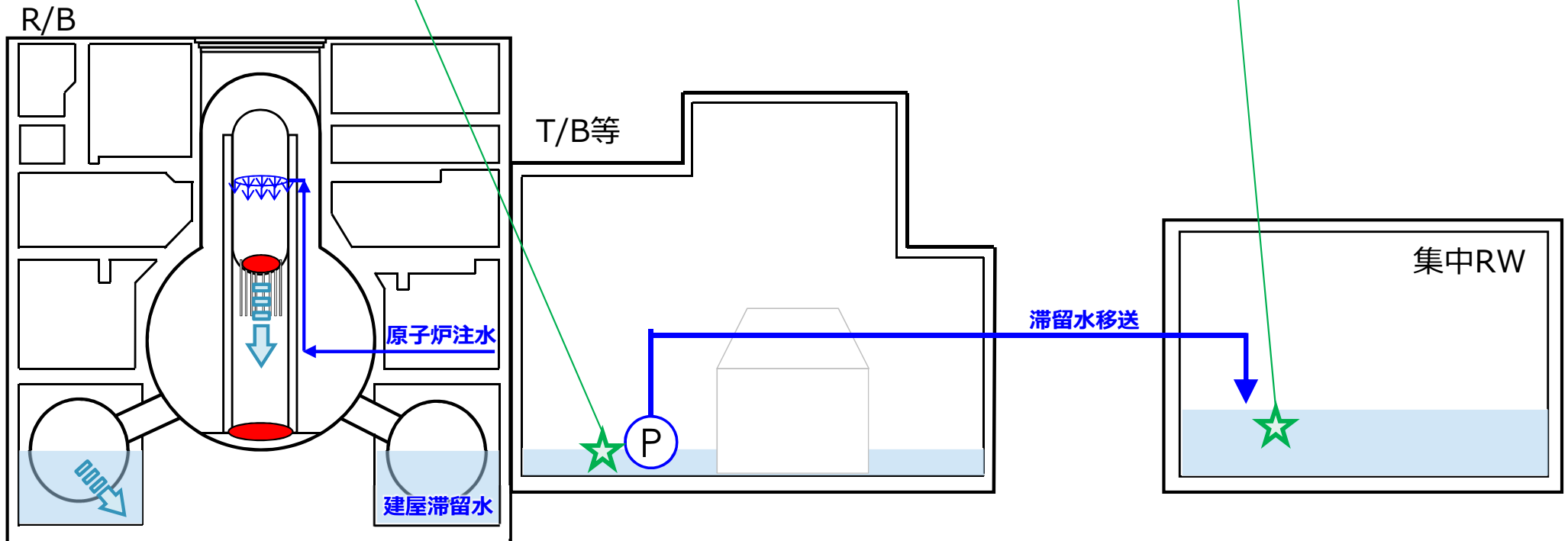
- 核分裂生成物並びに放射化生成物のインベントリ量を評価した上で、これらの放射性物質が建屋滞留水へ移行していることを踏まえて、過去の建屋滞留水の分析結果及び廃止措置や埋設施設に関する研究、その他の文献等から建屋滞留水への移行評価を行う。

過去の建屋滞留水の分析結果 [Bq/L]

建屋	日付	I-131	Cs-137	Sr-90
1号機T/B	2011.3.27	3.0E+07	1.6E+08	2.1E+04
2号機T/B	2011.3.24	2.0E+09	2.8E+08	1.4E+08
3号機T/B	2011.3.27	1.6E+09	1.6E+08	1.5E+07

過去の建屋滞留水の分析結果 [Bq/L]

建屋	日付	Co-60	Cs-137	Sr-90
PMB	2011.8.30	1.1E+04	9.6E+08	1.1E+08
PMB	2011.11.1	4.9E+03	7.4E+08	2.9E+08



過去の建屋滞留水の分析結果と震災直後の建屋滞留水の状況 (イメージ)

4. ALPS処理水の測定対象核種選定の考え方（案）

審査会合における主な指摘事項（主要な論点毎）※1

2-2 政府方針への取り組みに関する確認

(3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価※2

- ソースタームとして、64核種（トリチウム、炭素14及びALPS除去対象62核種）を設定しているが、ソースタームの設定に当たっては、ALPS処理水中に理論的にどのような核種が存在しうるのかを評価した上で、評価対象核種を絞り込むなどの選定の考え方を明示すること

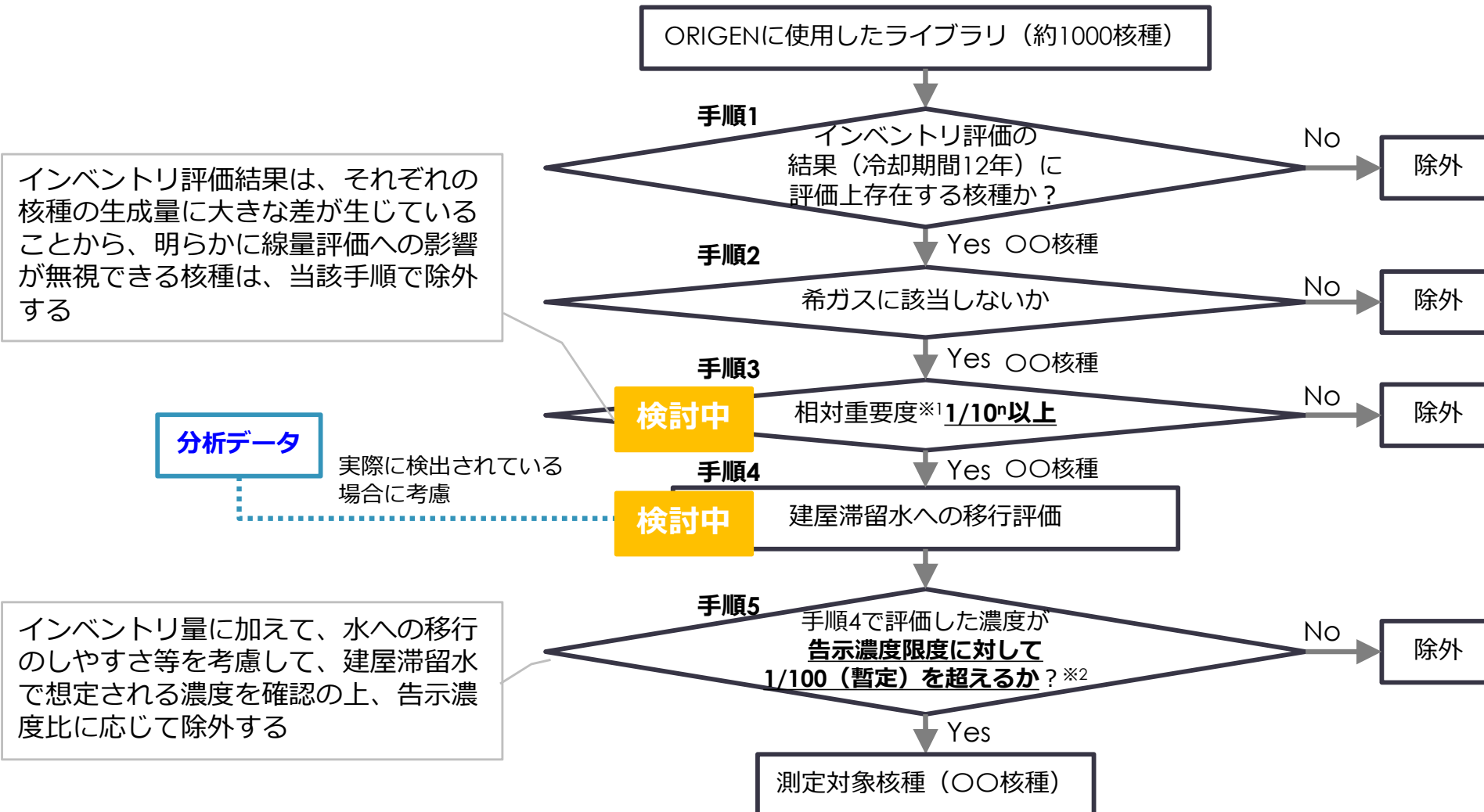
※1：第97回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2-2 別紙2

※2：論点の内容は異なるものの、核種の選定の考え方は本項目にて回答する。

2-1(2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

4.1 ALPS処理水の測定対象核種選定の考え方（案）

- 汚染水、処理水の核種分析の結果並びにインベントリ評価の結果から、以下のフローに従い、測定対象核種を選定することを検討中。当該フローで選定された核種にて放出基準を確認する予定。
- なお、今回の測定対象核種選定において、ALPS除去対象核種が除外されたとしても、ALPSで除去されたことを確認するため、当社が自主的にこれらの核種も確認する計画。



※1：それぞれの核種のインベントリ量を告示濃度限度で除した値と、その総和に対する比により、線量評価に影響を与える核種を確認
※2： α 核種は全 α で測定するため、 α 核種の全Bq数に対して、最も厳しい告示濃度（4Bq/L）に対する比により評価する

ALPS処理水の海洋放出設備の申請内容等に係る主要な論点※ に対する回答

※ALPS処理水審査会合（第3回）資料1-2

（2－1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点）

（1）海洋放出設備

③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

- 混合希釈率の設定や敷地境界における実効線量の評価に当たっては、海水の取水箇所が存在する放射性物質の影響を考慮するとともに、その影響が無視できない場合には、港湾内の放射性物質の取水箇所への移行を防止するための対策を説明すること。

