

中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法の基本手順の技術評価に関する
日本原子力学会への説明依頼事項（その 2）への回答

2022 年 10 月 27 日
（一社）日本原子力学会
標準委員会

標記につきましては、以下の通り回答いたします。

質問のうち「黒字の部分」は、参考資料 2-1（注 1）を参照ください。赤字の「更問」は、参考資料 4-1-3 を参照ください。

注 1：第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム（令和 3 年 9 月 21 日） 参考資料 2-1「中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法の基本手順の技術評価に関する日本原子力学会への説明依頼事項（その 2）」

○ 「適用範囲と理論的方法の特徴」に関するもの

1. 「4 評価対象とする廃棄物及び評価対象核種」で、中深度処分対象廃棄物の評価対象核種を検討する場合に、汚染の影響を含めているかどうか説明してください。特に、除染を行わない場合に、汚染が評価対象核種の選定に影響を及ぼす可能性と、その影響の程度について説明してください。

回答 1

放射性廃棄物の埋設事業許可申請書に記載する放射性核種は、旧原子力安全・保安院の内規等を参考に、事業者が評価を実施して選定し、選定根拠は審査の中で説明することになりますが、原子力学会標準「AESJ SC F012:2008 余裕深度処分の安全評価手法：2008」において、中深度処分の地下水移行を介した線量評価例として、汚染起源の C-14 と放射化物起源の C-14 を評価対象核種とした評価が示されているように、「放射化分」と「汚染分」の評価をしたうえで「汚染分」の影響を評価することになると考えています。

汚染が評価対象核種の選定に影響を及ぼす可能性と、その影響の程度については、金属母材とクラッドの物性値の違い（溶出率や分配係数など）による埋設施設の移行シナリオへの影響等を踏まえて定める必要があるため、現時点では提示できません。今後、事業者が中深度処分施設の設計及び評価を進める中で、表面汚染による放射性物質の影響を把握した上で、具体的な条件（判断基準）が定められるものと考えます。

ただし、中深度処分対象廃棄物の放射能濃度は、「放射化分」と「汚染分」を評価した上で、「汚染分」の影響を評価します。

更問 1

「中深度処分対象廃棄物の放射能濃度は、「放射化分」と「汚染分」を評価した上で、「汚染分」の影響を評価します」と記載されているとおり、標準としての記載は「原則、二次的な汚染による影響を考慮する」との理解でよいか。

更問 1 への回答

原則、二次的な汚染による影響を考慮することを想定しています。

2. 「5.2.1 理論計算法の種類」

- (1) 「「判断基準」と言うより、より合理的に放射能濃度を評価することを考えて」について、合理的な放射能濃度の評価とは何か説明してください。
- (2) 放射化金属等の詳細情報が特定されない場合（例えば、照射履歴が追えない場合）の評価方法について説明してください。
- (3) 切断する前の機器の状態での評価が可能な区間推定法によって得られた平均放射能濃度などの評価結果を廃棄体の放射能濃度決定に反映する方法について説明してください。

回答 2 (1)

標準 5.2.1 に示しています「より合理的な放射能濃度の評価」とは、次の項目に関する利用者の負荷などを総合的に勘案して、適用する評価方法を選択することを意味しています。

- － 入力用条件の整備（対象放射化金属等の発生量、大きさに応じた整備が必要）
- － 総放射化計算回数
- － 廃棄体製作段階までの管理（履歴管理、測定作業）
- － 中深度処分対象廃棄物の発生量（数量だけでなく大きさも対象）
- － 評価結果の保守性の程度

更問 2(1)

利用者の負荷などを総合的に勘案」とは各項目がどの程度影響し合っているのか具体的に示して下さい。

更問 2(1)への回答

「利用者の負荷などを総合的に勘案」は、「評価結果の保守性の程度」を除き、次の項目ごとに各評価方法の作業負荷に関して、例えば「ポイント」による相対比較し、これらを積算するような評価のことを意味しています。

- － 入力用条件の整備（対象放射化金属等の発生量、大きさに応じた整備が必要）
- － 総放射化計算回数
- － 廃棄体製作段階までの管理（履歴管理、測定作業）
- － 中深度処分対象廃棄物の発生量（数量だけでなく大きさも対象）

回答 2 (2)

「放射化金属等の詳細情報が特定されない場合」ですが、基本的には放射化金属等は、対象物の材質（元素）、照射履歴（中性子、照射時間）は管理されており、この情報が各放射化金属（対象物）として追えないことはありません。

ただし、各放射化金属を切断して、廃棄体に収納する際に、大量に発生する運転廃棄物であるチャンネルボックスなどに関しては、切断片 1 個ごとの履歴情報が廃棄体に連関されない場合も想定されます。

この場合においては、廃棄体に収納された評価対象物自体の種類が特定されることは必要ですが、区間推定法の濃度比法などを適用することによって、事前に評価した評価対象物の濃度比を適用し、廃棄体の Key 核種濃度を非破壊外部測定することによって、情報（履歴情報を踏まえて評価する Key 核種濃度）を補うことができます。

回答 2 (3)

「区間推定法によって得られた平均放射能濃度などの評価結果を廃棄体の放射能濃度決定に反映する方法」は、標準の内容（主に附属書 D）を要約すると下表に示す方法で決定することになります。

濃度比法	換算係数法	濃度分布評価法
<p>評価結果である濃度比の最大放射能濃度の評価には算術平均、放射エネルギーの評価には幾何平均を使用して、廃棄体の Key 核種濃度（非破壊測定又は集積計算結果）に乗じて放射能濃度を決定します。</p> <p>さらに廃棄体重量の測定結果から得られる廃棄物の重量を乗じて放射エネルギーを決定します。</p>	<p>評価結果である換算係数の最大放射能濃度の評価には最大値、放射エネルギーの評価には平均値を使用して、廃棄体に収納した放射化物の燃焼度を乗じて放射能濃度を決定します。</p> <p>さらに廃棄体重量の測定結果から得られる廃棄物の重量を乗じて放射エネルギーを決定します。</p>	<p>評価結果である放射能濃度の平均値及び最大値を使用します。</p> <p>さらに、廃棄体重量の測定結果から得られる廃棄物の重量を乗じて放射エネルギーを決定します。</p>

3. 「D.1.1 区間推定法の種類」

(1) 「放射能濃度の計算結果を使用した評価の方法」は同じではないことから、同じ計算結果（核種の放射能濃度）を用いて「換算係数法」及び「濃度比法」で評価した場合、どの程度の差が出るのか説明してください。

(2) 「濃度比法」、「換算係数法」に適する評価対象として共通する機器（チャンネルボックス等）のいくつかの核種を例に、放射化計算の結果の同等性を説明してください。

回答 3 (1) 区間推定法の評価には、表 3(1)の①及び②の 2 種類の方法がありますが、附属書 J に示します「換算係数法」については、②の平均的条件で設定する方法の例を示しています。

このため、①の方法で評価した例を示している「濃度比法」との直接的な評価は難しい。

表 3(1)-1 附属書の例示に適用した区間推定法の入力条件の設定

	設定方法	入力条件の設定	例示している方法
①	条件範囲を網羅する設定	評価対象廃棄物の入力条件（中性子条件の例：炉内の中性子照射位置ごとの中性子条件の分布）を踏まえ、この分布の範囲からランダムにサンプリングを行い、計算条件を設定する。	附属書 I の濃度比法
②	平均的又は保守的条件での設定	評価対象廃棄物の平均的又は保守的入力条件（中性子条件の例：中性子照射位置ごとの中性子条件の分布を踏まえ、この分布の範囲から平均的な中性子フルエンス率・中性子スペクトル分布、又は放射能濃度を保守的に（大きめに）評価できる代表値、放射化断面積）を設定する。	附属書 J の換算係数法

なお、「濃度比法」と「換算係数法」の放射能評価に適用した入力計算条件は上記のように異なりますので、放射化計算の結果が異なることから、同等性の直接比較はできませんが、単純にそれぞれの計算結果（評価係数：濃度比と換算係数）を踏まえ、Nb-94 の放射能濃度に関して「濃度比法」と「換算係数法」による評価結果を比較したものを下表に示します。

表 3(1)-2 チャンネルボックスの Nb-94 放射能濃度の評価方法による差異

濃度比法による評価結果	換算係数法による評価結果	比 (濃度比法/換算係数法)
5.1 E+09 Bq/t	4.4 E+09 Bq/t	1.16

注記： 燃焼度（45 GWd/t）で換算係数法によって評価した Co-60 放射能濃度を基本として、「濃度比法」は、この Co-60 放射能濃度に Nb-94/Co-60 濃度比を乗じて、「換算係数法」は、燃焼度に Nb-94 の換算係数を乗じた評価結果で比較した。

更問 3(1)

(濃度比法／換算係数法) の値が書いてあるだけで結論が書かれていない。

更問 3(1)への回答

「(改訂) 第 3 回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答」の別紙 1 最大放射能濃度の計算の手順の比較の「6.5 放射能濃度の評価における裕度」の(最大放射能濃度の評価結果の比較)において、評価結果を「右記のように、各手法間の Nb-94 の最大放射能濃度の評価結果は、1.27 倍の範囲で評価されています。」と結論を示しました。

回答 3 (2)

標準の附属書 I 及び附属書 J に示しています「濃度比法」と「換算係数法」は、前述のように、入力条件の設定方法が異なりますので、同じ評価結果ではありませんが、前述しました方法で、他の核種での評価結果を比較しましたもの表 3(2)に示します。

表 3(2) チャンネルボックスの他の核種の放射能濃度の評価方法による差異

	濃度比法による評価結果	換算係数法による評価結果	比 (濃度比法／換算係数法)
C-14	1.4 E+11 Bq/t	5.4 E+10 Bq/t	2.60
Tc-99	2.4 E+07 Bq/t	1.5 E+07 Bq/t	1.60

注記： 比較のための計算方法は、表 3(1)-2 と同じ

4. 「D.1.2 換算係数法」の「表 I.11-ZrTN804D(BWR チャンネルボックスの本体)の配置位置の設定」に示されたローテーションの種類は 1980 年代後半以降に採用されたもので、それ以前は外周部に新燃料を配置していた可能性があります。1980 年代後半以前に発生したチャンネルボックスの評価方法を説明してください。

回答 4

BWR では初期のプラントから炉心最外周には燃焼が進んだ燃料を装荷しており、1980 年代後半以前に新燃料を外周部に配置する運用は確認できませんでした。

5. 「D.1.3 濃度比法」の評価する核種間の「濃度比」は、(中略)中性子フルエンス率及び照射時間の差異の影響を受けず「濃度比」は一定となる。」について、「附属書 B (参考) 放射化計算の条件が放射能濃度に与える影響の評価例」に例示されている核種以外

のマイナーな核種についても同様である根拠を説明してください。

回答 5

附属書 D の式(1)に示しますように、放射化によって生成する核種の放射能濃度は、中性子の照射時間が生成する核種の半減期に比べて短いなどの条件では、式(1)のように近似的（中性子エネルギー群に単純化）に表わされます。

$$A = \sigma \times N \times \Phi \times t \times \lambda \dots\dots\dots (1)$$

- ここに、 A : 評価対象とする放射化金属等の放射能濃度 (Bq/cm³)
- σ : 親核種の放射化断面積 (cm²)
- N : 親核種の照射前の原子数密度 (cm⁻³)
- Φ : 中性子フルエンス率 (n/cm²/sec)
- λ : 生成核種の崩壊定数 (s⁻¹)
- t : 中性子の照射時間 (s)

この式を用いると、評価対象位置の放射能濃度は経時的に変化しても、選択した評価対象位置では、「同一の中性子フルエンス率、同一の中性子の照射時間」であることから、評価対象核種と Key 核種との濃度比は、一定の定数で示すことができることになります。

したがって、濃度比法の場合、元素が変わっても、照射に関わる変数である中性子フルエンス率、中性子の照射時間は濃度比を取ることで影響は消え、残る因子（定数）の比になりますので、対象核種が変わろうとも、例以外のマイナーな核種についても、同じ結果となります。

6. 「D.3.1 評価対象放射化金属等の形状及び設置方向による照射位置の設定」において、「評価位置」と「照射位置」の記載がありますが、両者の違いについて説明してください。

回答 6

ここに示しています「評価位置」と「照射位置」ですが、次のようになりますが、評価する対象位置での照射条件を考える場合は、両者は同じ位置となります。

- 評価位置： 評価対象物の放射能濃度を評価する位置
- 照射位置： 中性子の照射によって照射される放射化金属等の位置

7. 「D.4.2 各元素の濃度分布基本形状の設定」に、「主成分元素については、分布の上限値に近い濃度のデータが正規分布よりも多く出現する一様分布を保守的に適用することもある。」との記載がありますが、管理範囲がある主成分元素に対して、一様分布ではなく正規分布となる場合はどのような場合か説明してください。

回答 7

放射化金属等の主成分元素の濃度分布は、製品である鋼材の品質管理（成分濃度の管理）のために成分管理目標値（JIS 規格で既定されている許容変動幅の範囲内となるように設定される成分管理の目標値）を定め、%オーダーでの成分調整が行われます。このため、SUS304 の Fe 及び Ni などの主成分元素の濃度は、基本的には、この%のオーダーでの成分管理目標値を中心としたばらつきを示す「正規分布」（図 I.6 の Fe を参照ください）となると考えられます。

これに対して、主成分元素は JIS 規格によって製品の品質の許容性を示すための管理範囲が、Ni の場合比較的狭いため（Ni の場合：質量分率 8.0%～質量分率 10.5%）、下図のように、この管理範囲内で「一様に分布」していると設定することで、より濃度の高い領域の確率を高めて設定することが出来ますので、標準では、SUS304 の Ni の計算例に対してこの一様分布を適用しています。

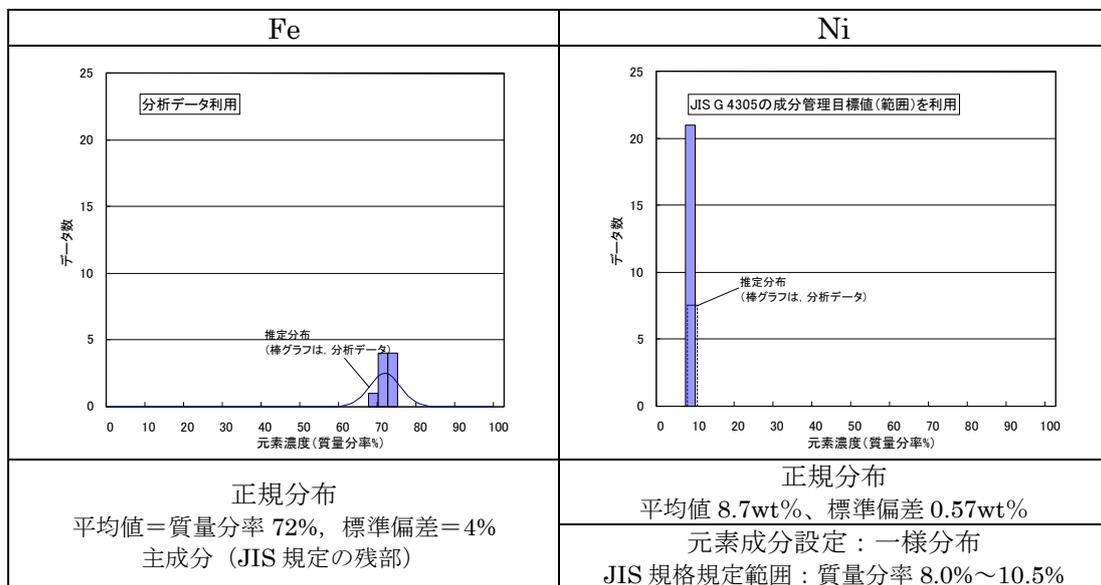
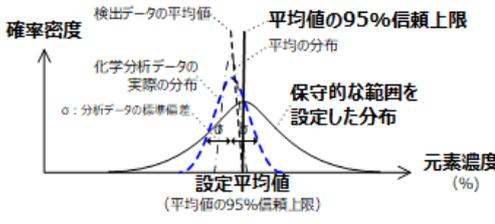
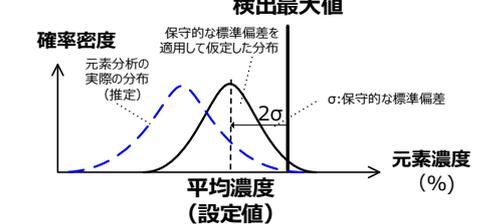


図 I.6—SUS304 の元素分析データ及び濃度分布条件設定結果（主成分 Fe 及び Ni の抜粋）

8. 「D.4.3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定」

- (1) 保守性の見込み方について、データ群の標準偏差の分布の何%を見込むことを妥当とするのか、根拠とともに説明してください。
- (2) 元素の検出下限値は、分析に用いた試料量や測定器の性能・測定方法等、化学分析の方法に依存します。対象となる放射化生成物の放射能、放射化断面積及び照射条件から逆算し、起源元素をどの程度の濃度レベルで評価すべきかを明らかにした上で、その値に対してどの程度の検出下限値を目標とするかによっても扱いが変わると考えられます。化学分析法の妥当性の評価のほか、目標とする検出下限値について説明してください。

回答 8 (1) 放射化計算の元素濃度の入力用に設定する濃度分布の標準偏差への保守性の見込み方に関しては、下記の考え方を適用しています。

データが比較的少ない場合	データが非常に少ない場合
 <p>附属書 D の D.4.3 の例の図</p>	 <p>附属書 D の表 D.5 の図に加筆</p>
<p>設定する分布を広くする方が保守的</p>	<p>設定する分布を狭くする方が保守的</p>
<p>標準偏差としては、上記の考え方を踏まえ、標準偏差として、標準偏差の分布の 95%信頼上限値を適用</p>	<p>標準偏差としては、上記の考え方を踏まえ、標準偏差として、標準偏差（同一の元素又は化学的性質が類似した元素の標準偏差）の分布の 95%信頼下限値を適用</p>

回答 8 (2)

元素の検出下限値は、分析に用いた試料量や測定器の性能・測定方法等、化学分析の方法に依存します。放射化生成物の放射能（放射化学分析による核種濃度の分析値）、放射化断面積及び照射条件から逆算し、起源元素の濃度レベルを推定することは、理論上は可能です。しかし、材料中の不純物元素等の微量元素によっては、生成する放射化生成物は濃度が低く放射化学分析において検出下限値以下になる場合があります。このような微量元素は、逆算により起源元素の濃度レベルを明らかにすることができないため、検出下限値の目標を設定することはできません。

金属材料中の元素分析（核種濃度を分析する放射化学分析ではなく、元素組成の定量分析）に適用する化学分析法は、既に確立した方法（JIS に準拠した分析法等）を基本とした、原子力分野以外の分野でも普及している方法であり、化学分析法として妥当な方法です。

【JIS の分析法の例】

- ・ JIS K0133 (2007) 高周波プラズマ質量分析通則
- ・ JIS K0116 (2014) 発光分光分析通則
- ・ JIS G1239 (2014) 不活性ガス融解赤外線吸収法

検出下限値は、金属材料中の妨害元素（対象とする元素と化学的性質が類似し分離し難い元素）の含有状況、適用する分析手法（妨害元素の分離操作方法、分析装置の種類）によって異なります。このような状況から、目標とする検出下限値は、過去の分析実績から設定されています。

9. 「D.5.1 中性子条件の設定における基本事項」

- (1) 文中の「一方、放射化断面積は、基本的に、放射化計算コードに内蔵されている既存の断面積ライブラリを使用すればよいが、中性子スペクトル評価の結果などによって放射化範囲の中性子スペクトルの特性を考慮して固有の断面積を作成することもある。」の「…を使用すればよいが、…を作成することもある」について、規定文としての意味を説明してください。
- (2) 中性子条件のうち中性子スペクトルについて、規定文中の「中性子スペクトル評価の結果」及び「中性子スペクトルの特性」について説明してください。

回答 9 (1)

「…を使用すればよいが、…を作成することもある」につきましては、ORIGEN コードシリーズと ORIGEN2 コードシリーズの場合によって、以下のとおり、使い分けることを意味しています。

ORIGEN コードシリーズにおいては、基本的に内蔵の断面積ライブラリを使用すればよいこととなります。

ORIGEN2 コードシリーズにおいては、コードに付属する 1 群の断面積ライブラリを使用すればよいが、対象範囲外（燃料領域以外）については放射化範囲の中性子スペクトルを考慮した固有の断面積の作成が必要となります。

回答 9 (2)

中性子スペクトルの評価結果は、中性子輸送計算による対象とする放射化金属等内の中性子スペクトルのことを意味します。

中性子スペクトルの特性については、中性子のエネルギースペクトルの特徴である熱群や高速群の中性子スペクトルの割合を意味します。

10. 「D.5.1 中性子条件の設定における基本事項」

- (1) 本標準が対象とする 3 つの炉型について、どの炉型に対してどのライブラリを適用するのか具体例を説明してください。また、炉型に応じたライブラリをどのような観点で選択したのかを具体的に説明してください。
- (2) JAEA 核データセンターでは放射化断面積データベース JENDL/AD-2017 を公開しています。JENDL/AD-2017 には、JENDL-4.0 には未収納であった基底状態及び準安定状態に対する評価済生成断面積、及び、JENDL-4.0 の公開以降に評価された核種の放射化断面積も収納されています。放射化評価において JENDL/AD-2017 をどのように取り扱

うのか説明してください。

回答 10 (1)

ライブラリは、炉型に応じて選択するのではなく、中性子スペクトルを考慮した断面積に関して、ベンチマークにより妥当性を確認されたものを選択します。

なお、附属書 F では妥当性が確認された例として、BWR チャンネルボックスの例の ENDF/B-VI、PWR 制御棒の例の RNAL*、GCR 黒鉛減速材の例の JENDL-3 を記載しております。

* : RNAL (Reference Neutron Activation Library) は IAEA から公開されている評価済核データ (URL: <https://www-nds.iaea.org/public/rnal/www/>)

回答 10 (2)

例えば、ORIGEN2 にて放射化断面積データベース JENDL/AD-2017 を使用する際には、基本的に主要な評価済核データファイルである JENDL-4.0 を用いますが、JENDL-4.0 に収納されていない生成反応に対しては、特殊目的ファイルである JENDL/AD-2017 や他の評価済み核データファイル ENDF/B-VII、JEFF-3.1/A を用います。ORIGEN-S においては、ORIGEN-S 用の JENDL/AD-2017 ライブラリ*を用います。

* : <https://rpg.jaea.go.jp/main/ja/MAXSAD-2017/>

1 1. 「D.5.2 中性子フルエンス率などの設定方法」

- (1) 「さらに、・・・中性子フルエンス率の評価を行う場合には、・・・適切な手法（信頼性のある放射化計算コード）を適用することがある。」とありますが、中性子フルエンス率を評価するのに放射化計算コードを適用できる理由を示してください。
- (2) 炉心核的性能計算について、具体的な方法を示してください。
- (3) 炉心核的性能計算とボルツマンの中性子輸送方程式との違いを示してください。
- (4) 原子炉の運転時は、原子炉内外の中性子が測定されており、測定結果との比較などにより中性子フルエンス率計算結果の妥当性を確認あるいは補正することが考えられます。中性子フルエンス率計算結果と中性子測定結果との比較について説明してください。
- (5) PHITS と MCNP の違いを踏まえて、中性子輸送計算の設定上考慮すべき事項を説明してください。

回答 11 (1) 炉心内の中性子フルエンス率に関しては、放射化計算コードでは燃料組成、出力及び燃焼期間をインプットとした燃焼計算を行うことも可能であり、その燃焼計算時に中性子フルエンス率が付随的に評価されるため、放射化計算コードを炉心内の中性子フルエンス率の評価にも適用できます。

回答 11 (2)

炉心核的性能計算とは、単位燃料集合体核特性計算コードと 3 次元核熱水力解析を組み合わせた計算手法です。単位燃料集合体核特性計算コードでは 1 体の燃料集合体に対し、組成、形状、断面積ライブラリを入力データとして、中性子の空間的・エネルギー的振舞を計算し、燃焼による組成の変化を繰返し反映して、中性子フルエンス率・中性子スペクトル分布を計算します。また、3 次元核熱水力解析による出力分布・ボイド率分布によって補正して、放射化計算のための中性子フルエンス率・中性子スペクトルを求めます。

回答 11 (3)

炉心核的性能計算の単位燃料集合体核特性計算コードは計算手法のため、ボルツマンの中性子輸送方程式に基づいて核特性計算し、出力分布・ボイド率分布によって補正して、放射化計算のための中性子フルエンス率・中性子スペクトルを求めます。

一方、Sn 法、モンテカルロ法、直接積分法などでは、出力分布・ボイド率分布によって中性子線源強度・領域密度を設定し、ボルツマンの中性子輸送方程式に基づいて直接中性子フルエンス率・中性子スペクトルを求めます。

回答 11 (4)

本標準において対象とする放射化対象物は炉内にて発生します。炉内の核計装用の中性子検出器には超小型の核分裂電離箱が用いられ、原子炉出力状態における炉心内の出力分布や中性子フルエンス率分布が計測できることから、計算による中性子フルエンス率分布の確認のため利用することは可能と考えます。

なお、放射化評価の妥当性確認はサンプル分析値（放射能濃度）との比較により行います。

回答 11 (5)

PHITS コードはボルツマン輸送方程式を統計的手法で解く国産のモンテカルロコードであり、核燃料輸送物に対するベンチマーク解析において、汎用モンテカルロコードの MCNP と解析結果のよい一致が得られることが報告されています[1]。

MCNP については本標準の附属書 F において、BWR チャンネルボックスの例、PWR 制御棒の例にて分析値との比較による妥当性（適用性）確認が行われています。PHITS を使用する際にも、MCNP と同様に分析値との比較による妥当性確認も含めて実施していくことが必要となります。

- [1] 後神 進司,「原子力規制庁長官官房技術基盤グループにおける PHITS コード改良」,RIST ニュース No.62(2017)

<p>1 2. 「D.6.2.2 中性子の照射時間」</p> <p>(1) 放射能濃度を代表できるような照射時間の条件設定方法及び評価結果が大きくなるような照射時間の条件設定方法について示してください。</p> <p>(2) 中性子の照射時間の長さが放射能濃度比に与える影響が比較的小さい範囲として10年連続照射以下としています、その理由と「比較的小さい放射能濃度比に与える影響」を説明してください。</p>
--

回答 12 (1)

中性子の照射時間の条件設定方法は、基本的には、運転実績値を踏まえて設定します。また、評価対象物に応じて、次のような考え方で設定します。

	運転廃棄物	解体廃棄物
照射時間の 特徴	比較的短期間（数年～10 数年）の頻度で、交換される制御棒、チャンネルボックスなどの種類によって、照射期間も異なる。	廃止措置段階で解体工事に伴って発生する比較的長期間（数十年）の同じ照射を受けた炉内構造物で、供用期間の途中で交換されていない場合は、種類に寄らず照射期間は同じとなる。
代表できる ような照射 時間	点推定法：個々の放射化物の交換されるまでに照射を受けた時間 区間推定法：交換されるまでに照射を受けた時間の実績分布を踏まえた平均値を適用する。	点推定法及び区間推定法ともに：運転終了までに照射を受けた時間
評価結果が 大きくなる ような照射 時間	点推定法：交換されるまでに照射を受けた時間の最大値 区間推定法：交換されるまでに照射を受けた時間の実績分布を踏まえた最大値を適用する。	点推定法及び区間推定法ともに：運転終了までに照射を受けた時間

回答 12 (2)

評価対象核種としては、埋設事業許可変更申請書に記載されます申請核種になりますが、想定される申請核種の中で最も半減期が短い核種は Co-60（5.27 年）と考えられます。

濃度比法においては、Key 核種として、非破壊外部測定を想定してγ線放出核種である Co-60 を選定することも考えられますが、この場合、核種の照射による生成と共に減衰も並行して始まりますので、この減衰の影響を加味する必要があります。

標準では、比較的半減期の短い核種を Key 核種として選定する場合においては、減衰による影響を%オーダーで止めることを勧告し、2 半減期以内での適用が適切であると考え、「10 年連続照射以下」を推奨しています。

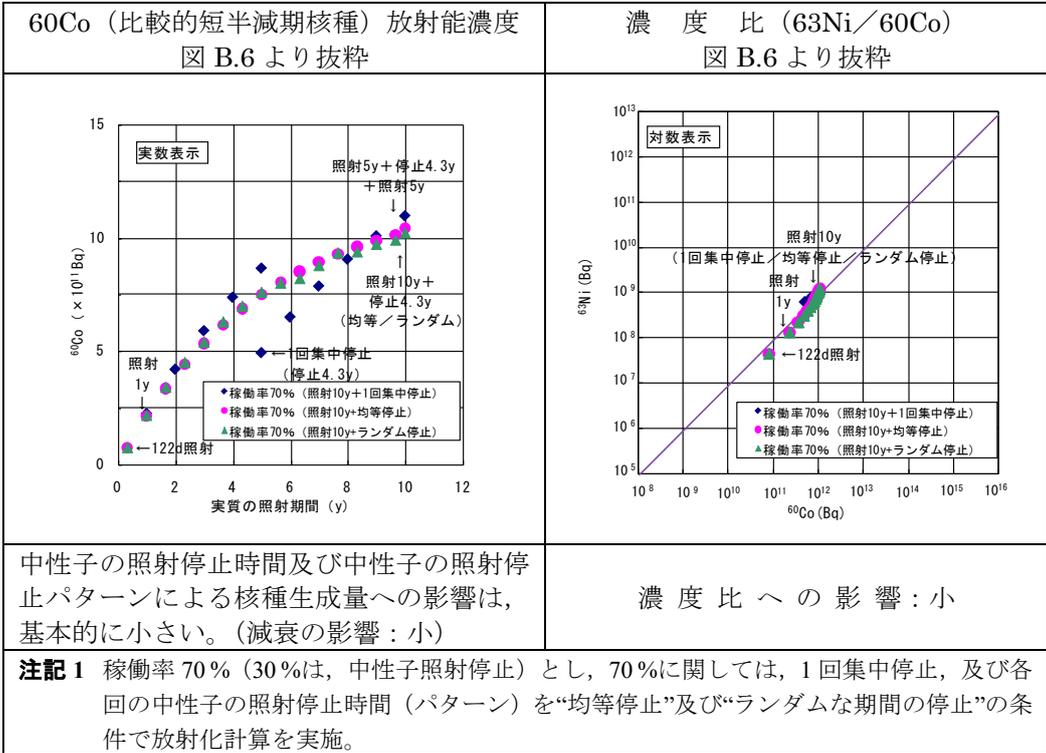
1 3. 「D.6.2.4 照射停止時間（供用期間中における）」の「長期間の中性子の照射停止時間が含まれる場合は、長期照射停止を終了し、再起動したしばらくの期間は、減衰による放射能濃度低下の影響が大きい場合」について、「長期間の中性子の照射停止時間」と「再起動したしばらくの期間」は、具体的にどの程度の期間を指すのか説明してください。

回答 13

供用期間中における照射停止時間の影響は、下図（附属書 B の図 B.6 より抜粋）にサイクルごとに停止した場合と集中的に停止した場合での比較的半減期の短い核種を Key 核種に選定した場合の影響に関して、試算した結果を示しております。

このように、「長期間の中性子の照射停止時間」に関しては、5 年程度の集中停止では、濃度比への影響は比較的小さいと考えられます。5 年以上に停止した場合は、その期間に亘じた試算を行った上で、影響を評価することが必要です。

また、「再起動したしばらくの期間」に関しても、下図の左の図に示しますように、放射能濃度の回復に 3 年程度を要していることから、この期間内での評価となる場合には、この点を考慮した評価が必要となります。



注記 2 影響の程度は、“小：2～3 倍程度以内の差異を生む”を意味する。

1 4. 「A.3 放射化計算コードの例」

- (1) 放射化計算コード DCHAIN2 について具体的に説明してください。
- (2) 「1 群実効核反応断面積」について説明してください。
- (3) 「基本的に一般的に使用されている放射化計算コードを放射化範囲の中性子条件の特徴を勘案し、適切に使用する必要がある。」とありますが、評価対象核種となりうる全ての核種に対して当該計算コードが適用できるのか説明してください。

回答 14 (1)

DCHAIN2^{*1}は旧日本原子力研究所（JAERI）で開発された Bateman 法^{*2}による核種の生成・崩壊を評価するコードです。Bateman 法に基づく手法では取り扱える崩壊系列の種類が限定され、循環形式の崩壊系列は取り扱えないという欠点がありましたが、この欠点を克服したコードです。

*1 Kanji TASAKA, "DCHAIN2:A COMPUTER CODE FOR CALCULATION OF TRANSMUTATION OF NUCLIDES",JAERI-M 8727(1980)

*2 核種の崩壊・生成を表す方程式を解析的に解く方法で、複雑な崩壊系列を線形の崩壊系列に分解しそれらの解析解をかさね合わせることにより一般解を求める方法

回答 14 (2)

1 群実効断面積は、ORIGEN2 コードシリーズにて用いられている核反応断面積の形式で、エネルギー毎の核反応断面積を対象位置の中性子スペクトルにて 1 群に縮約したものです。1 群縮約においては、各エネルギー群の中性子フルエンス率（中性子スペクトル）と核反応断面積の掛け合わせの積分値である反応量が保存されるように、下式^[1]のとおり、1 群の核反応断面積を作成します。

例えば、各種炉型や燃料仕様に対する原子炉燃料中の中性子スペクトルに基づき整備された JENDL-4.0 の 1 群実効断面積に ORLIB-J40 があります。

$$\sigma_1 = \frac{\sum_g \sigma \cdot \Phi}{\sum_g \Phi}$$

σ_1 : 1 群実効核反応断面積

σ : 核反応断面積

Φ : 中性子フルエンス率

$\sum_g \Phi$: 1群の中性子フルエンス率 (g は全群に対して積分することを示す)

- [1] 奥村啓介他, 「JENDL-4.0 に基づく ORIGEN2 用断面積ライブラリセット : ORLIBJ40」, JAEA-Data/Code 2012-032

回答 14 (3)

評価対象核種の生成反応が収納された核データライブラリを用いれば、評価対象核種に対する計算自体は可能と考えます。

例えば、ORIGEN、ORIGEN2 コードシリーズにおける放射化計算結果の妥当性確認状況は次のとおりです。

FP やアクチニドについては、ORIGEN2 コードシリーズにおいて燃料照射後の試験解析により分析値と計算値がよく一致することが確認されています[1][2][3][4]。

また、主要な放射化核種については、附属書 F において ^{60}Co 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{14}C の分析値との比較により、放射化計算結果の妥当性が確認されています。

それ以外の妥当性確認の事例がないようなマイナーな核種も多数存在しますが、上記で妥当性が確認された主要な放射化核種と同様に熱中性子エネルギーにて生成する核種が主であること及び各国の研究機関において、実験値をベースとして核物理の理論計算値や統計学による推定値を加えることによってもっとも真値に近づくよう核データを評価された評価済核データ[5]に基づく放射化断面積が用いられていることから、マイナーな核種の放射化計算結果についても概ね妥当な結果が得られるものと推測されます。

- [1] JAEA-Data/Code 2012-032 「JENDL4.0 に基づく ORIGEN2 用断面積ライブラリセット : ORLIBJ40」 (2013 年 4 月)
- [2] JAERI-Data/Code 2004-015 「JENDL3.3 に基づく ORIGEN2 用断面積ライブラリセット : ORLIBJ33」 (2004 年 11 月)
- [3] JAERI-Data/Code 2000-036 「JENDL3.2 に基づく軽水炉 MOX 燃料用 ORIGEN2 ライブラリ」 (2000 年 11 月)
- [4] A. G. Croff, “ORIGEN2 : A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristics of Nuclear Materials” , Nuclear Technology, Vol.62, (1983).
- [5] https://www.ndc.jaea.go.jp/Labo/index_J.html

15. 「A.4.1 妥当性確認」において、「放射化計算などによって得られた結果に関する正確さ及び適用性を確認する。」とありますが、放射化計算のほかに想定している方法を示してください。また、放射化計算などによって得られた結果の「正確さ」と「適用性」はどのように確認するのか説明してください。

回答 15

放射化計算のほかに、中性子輸送計算の各計算コードに関しては、それぞれに別途検証が

行われていると考えられるため、その検証された結果の確認があります。

また、結果の「正確さ」と「適用性」に関しましては、附属書 F¹⁾に示しましたように、評価対象廃棄物のサンプリング・分析結果と理論計算法の計算結果との比較検証によって計算の正確さと、この理論計算の入力条件の設定の適用性が確認できます。

注1 附属書 F には、BWR のチャンネルボックス、PWR の制御棒、GCR の黒鉛ブロックのサンプリング・分析結果と理論計算法（点推定法）の計算結果との比較評価結果を示している。

1 6. 「A.4.2 計算の準備段階」において、「妥当性確認された放射化計算方法又は放射化計算コードを使用するために必要な手順書の準備を行う」とありますが、手順書に記載すべき内容を説明してください。

回答 16

放射能評価の手順書（文書化）を定めることを標準は求めています。手順書に記載すべき内容までは、標準では示しておりません。

ただし、放射能評価を行う事業者が標準の内容を踏まえ、手順書を作成するものと考えられます。このことを踏まえますと、基本的には、標準の「6.放射能濃度決定方法の手順」、附属書 A の「A.1 理論計算法の基本的な適用方法」（図 A.1 参照）及び附属書 D の「D.2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」（図 D.1 参照）に示す基本的なステップに沿った手順、並びに標準の「7.記録」と附属書 N の記録とを含めた下表に示す内容の手順書になるものと考えられます。

項目	主な内容
適用対象と適用方法	評価対象とする廃棄物及び核種、並びに起源元素の選定の手順
評価対象の条件の整備	評価対象原子炉条件及び放射化計算に必要となる入力条件のための基礎データ整備の手順
適用する評価手法	評価対象ごとの適用する評価手法及び評価手法の妥当性の確認
入力条件の設定	放射化計算に必要となる元素、中性子、照射の各条件の設定手順及び区間推定法における入力条件の抽出の手順
放射化計算	放射化計算の手順及び計算結果の評価の手順 計算の充足度の評価の手順
放射能濃度の決定	放射計算結果を踏まえた廃棄体の放射能濃度の決定手順
妥当性確認	計算準備段階から計算結果の記録までの妥当性確認

	の手順
記録	各手順における記録及び廃棄体（廃棄物）との関連確保の手順
参考資料	計算コード及び計算コードの妥当性確認結果

17. 「A.4.3 計算の実施段階」において、「計算条件の入力データを、第三者のトレーサビリティが得られるように、明確に記録する」とあるが、記録すべき項目について説明してください。

回答 17

放射能評価を行った結果としての記録の項目としましては、附属書 N（下記参照及び ISO 16966 を参照）に示しております項目の内、トレーサビリティに関しては、a)、 b)、 d)、 h) になります。

N.1 結果の記録内容

放射化計算の結果の主要な記録は、評価者が計算の背景及び計算をトレースできるようにするために、次の情報を含むことが望ましい。

- a) 理論計算の内容及び範囲
- b) 評価対象とした放射化金属等の説明
- c) 放射線（線量率）測定方法の説明（放射線測定を適用した場合）
- d) 理論計算方法の説明
- e) 理論計算の結果の要約
- f) 結果の妥当性確認、及び／又は不確定性の検討
- g) 参考文献（含むことが望ましい）
- h) 評価、検証などの結果

○ 「理論的方法の入力条件の設定方法の具体及び評価結果の不確かさ」に関するもの

1. 「2. 引用規格」において、「付属書 O (参考) 原廃棄物分析法の記録の例」の「O.1 f) 結果の妥当性確認, 及び/又は不確定性の検討」において、JIS Z 8402-2:1999「測定精度及び測定結果の精確さ(真度及び精度) - 第2部: 標準測定方法の併行精度及び再現精度を求めるための基本的方法」に記載されているグラブスの検定などを(中略)適用してもよいとしています。「2 引用規格」には当該 JIS 規格は記載されていませんが、引用規格に記載する範囲について説明してください。(JIS K 2251:2003 も同じ)

回答 1

本文に示しています「2.引用規格」に関しましては、規定対象となります本文及び附属書(規定)に引用しています規格を示すこととしております。

このため、現段階で附属書(参考)となっています附属書に関しては、「2.引用規格」には示していないものです。

なお、附属書の参考文献として引用しています。

標準作成ガイドライン：2020 AESJ-SC-M001:2020 より抜粋

7.3.3 引用規格

- a) 標準の規定の一部を構成するために必要な JIS 規格, 原子力学会標準, 機械学会基準, 電気協会規格, 国際規格 (EU 規格を含む), 外国国家規格 (及びそれに準ずるもの) などを列記する。引用規格の箇条は, 必須要素とする。引用規格がない場合は, 定型文 “この規格には, 引用規格はない。”を用いる。

規格以外に, 他の標準, 文献なども引用規格として列記することが可能である。ただし, 規定の一部を構成するので, 本体及び附属書(規定)の中で引用しているものに限定する。

IAEA Guide, IAEA safety standard, IAEA Tech. Report series, ICRU report, ICRP publication は, 引用規格とはせず, 参考文献とする。

2. 「6 放射能濃度決定方法の手順」で参照する附属書について、附属書 F の評価対象物と附属書 I、J 及び K の評価対象物が同じであるものの附属書 F で用いている理論計算法が一部不明確です。附属書 F における PWR 制御棒及び GCR 黒鉛減速材で用いている理論計算法について説明してください。具体的には、PWR 制御棒では「理論計算法」、GCR 黒鉛減速材では「理論計算値法」と記載されており、点推定法又は区間推定法のいずれを用いたかが不明確であるため、用語の定義を説明してください。

回答 2

PWR 制御棒について、附属書 F の F.2 に示している評価は、図 F.5 示します制御棒の特定位置から採取した試料の放射化分析結果と比較するために行っております。したがって、点推定法を用いています。

また、GCR 黒鉛減速材について、附属書 F の F.3 に示している評価は、図 F.10 に示します原子炉内の特定位置から採取した試料の放射化学分析結果と比較するために行っております。したがって、点推定法を用いています。

3. 「6.1.1 放射化計算の基本手順」について、基本手順を規定する必要性について説明してください。また、本文において放射化計算の基本手順の過程を順に a)～e)に列挙し、末尾に「注記 詳細は、附属書 A 参照。」としています。附属書 A が優先されると理解しますが見解を示してください。

回答 3

規定である標準本文が優先されます。附属書 A (参考) は、規定ではなく、標準本文の理解又は利用を助けるための参考となる詳細情報をまとめたものです。

なお、現在、附属書 (参考) となっている附属書は、将来的な実績などを踏まえて、附属書 (規定) とすることを想定しています。

4. 「6.1.2.2 元素成分条件」の本文末尾の注記に記載する附属書 F は「(参考) 放射化計算を行う場合の計算例」、附属書 G は「(参考) 放射化計算の入力条件の設定例」であることから、「注記 詳細は、附属書 F 及び附属書 G 参照。」は、「注記 入力条件の設定例及び計算例は、附属書 F 及び附属書 G 参照。」とした方が注記の位置付けが明確になるのではないですか。

回答 4

ご指摘ありがとうございます。学会での今後の本標準改定時の参考とさせていただきます。

「標準からの抜粋」

6.1.2.2 元素成分条件

評価の条件、評価対象とする放射化金属等の構成材料を考慮して、起源元素を選定し、元素成分データを収集する。種々のソースから収集した起源元素の元素成分データを放射化計算に用いることができる。

注記 詳細は、**附属書 F** 及び**附属書 G** 参照。

5. 「6.1.2.2.1 起源元素の選定方法」

- (1) 起源元素の選定方法の一つに「不純物，又は微量元素として存在していると考えられる元素とともに，評価する材料の化学組成から選定する。」と規定されていますが、材料の特性改善のために意図した添加元素の存在も無視できません。「附属書 G（参考）放射化計算の入力条件の設定例」の「図 G.2—放射化計算の条件設定のための起源元素の選定例（ZrTN804D 及び SUS304）」（84 頁）の注 b)においては、「材料の仕様・製造上の理由で添加している元素は，評価対象とする。」と規定しています。添加元素について 6.1.2.2.1 項に記載せず、参考扱いの附属書 G で規定する理由を説明してください。
- (2) 評価対象構造物には溶接部が存在する場合がありますが、その溶接材料は母材と同一成分ではなく、溶接性の改善のために合金元素等が添加されている場合があります。また、複数の溶接施工方法を組み合わせている場合も考えられます。溶着金属の起源元素の選定方法について説明してください。
- (3) JIS 等の材料規格に規定する公式の試験成績書（ミルシート）に記載されない添加元素の確認方法について説明してください。
- (4) スクリーニングのステップの一つに「評価対象核種の総生成放射能に対する寄与が小さい元素は，起源元素から除外できる。」と規定し、附属書 G の「G.1.1.3 起源元素の選定手順」の「d) 四次スクリーニング(材料別)」3)において、各起源元素の総生成放射能に対する寄与率を生成比として「生成比 0.01%未満の元素をスクリーニング対象（評価対象元素から除外）とした。」としています。「生成比 0.01 %未満」を本文に規定しないことの適切性について説明してください。

回答 5 (1)

本文 6.1.2.2.1 に示します「不純物，又は微量元素として存在していると考えられる元素とともに，評価する材料の化学組成から選定する。」の詳細を示すために、本来，標準の本体に含めてよい事柄ですが，標準の構成上，特に取り出して本体に準じてまとめて附属書 G を示しておりますので，添加元素に関わる内容も附属書の方に示すこととしています。

AESJ-SC-M001:2020 標準作成ガイドライン：2020

3.2.7

附属書（annex）

内容は，本来，標準の本体に含めてよい事柄であるが，標準の構成上，特に取り出して本体に準じてまとめたもの

6.1.2.2.1 起源元素の選定方法

起源元素は，評価対象とする放射化金属等の種類（材料）ごとに，次の考え方を踏まえ，選定する。

— 起源元素は，不純物，又は微量元素として存在していると考えられる元素とともに，

評価する材料の化学組成から選定する。

— 評価対象核種（評価対象核種と相関関係をもつ Key 核種を含む）を生成する元素は、起源元素として抽出しなければならない。

回答 5 (2)

溶接材料に関する微量元素の放射能評価（起源元素の選定を含め）に関しては、下表に示しますように、元素成分の組成は、同様な組成であり、かつ、放射化金属等の本体に対して溶接材料の占める割合は小さいと考えられ、さらにその中の微量元素になりますので、放射能濃度の評価において、問題になるものとは捉えておりません。

SUS304 の化学成分の製造管理目標値（表 G.12）及び溶接棒の化学成分

元素	不純物成分					主成分	
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
SUS304 化学成分 (質量分率%)	≤0.08	≤1.0	≤2.0	≤0.045	≤0.03	8.0~10.5	18.0~20.0
JIS Z 3221 被覆アーク溶接 棒 化学成分 ES308	≤0.08	≤1.0	0.5~2.5	≤0.04	≤0.03	9.0~11.0	18.0~21.0

回答 5 (3)

起源元素の選定は、ミルシートに基づいて行うものではなく、申請核種を生成する起源元素を全 103 元素から選定して評価しますので、申請核種を生成する起源元素を落とすことはありません。

なお、ミルシートの利用は、起源元素が決まった後に、対象元素の分析値がミルシートに記載されている場合に、この分析データを利用するものです。

また、記載されていない元素は、化学分析又は文献によるデータを適用します。

回答 5 (4)

四次スクリーニングにおける判断基準として示しています「生成比 0.01%未満」は、附属書 G の G.1.1.3 d) 3)に示しておりますように、下記の考え方によるものですが、起源元素選定の一連の起源元素の選定手順の中に示した方が良く考え、附属書 G に示しているものです。

「生成比のスクリーニングの判断指標は、放射化計算結果の放射能濃度又は濃度比の最終的な値の有効数字が 2 桁（3 桁目を切り上げ）であると想定し、これに推定存在濃度レベル評価の不確定性を考慮（1 桁を想定）し、生成比 0.01 %未満（有効数字 5 桁以下に影響）

とした。」

6. 「6.1.2.2.2 起源元素の元素成分データの収集方法」規定文中に「同じ材料の種類」、「同じ材料種類」、「同種の材料種類」という用語が使用されています。上記の3つの用語について異なる意味で使っているのか説明してください。また、同じ意味であるならば、用語を統一してください。

回答 6

ご指摘の点ですが、次のように標準では扱っています。なお、「同じ材料の種類」と「同じ材料種類」は同じです。

なお、標準に関するご意見につきましては、ご指摘ありがとうございます。学会での今後の本標準改定時の参考とさせていただきます。

同じ材料種類： 品番までが同じ材料種類（例 SUS304）

同種の材料種類： 品種までが同じ材料種類（例 SUS）

「標準からの抜粋」

6.1.2.2.2 起源元素の元素成分データの収集方法

評価対象とする放射化金属等の種類，材料を考慮した上で，次のいずれかの方法で起源元素の元素成分データを収集する。

- 放射化金属等の試料（品質管理用保存試料など）又は同じ材料の種類の試料の化学分析を行う方法。
- 放射化金属等と同じ材料種類の試料，又は同種の材料種類の試料の化学分析結果の文献データ，材料証明書を収集する方法。
- 放射化金属等と同じ材料種類に関する材料規格の元素成分データを収集する方法。

7. 「6.1.2.3 中性子条件」の（1）a)において、「中性子フルエンス率・中性子スペクトルは（中略）中性子輸送計算コードなどによって適切に評価し設定する。」と規定する「中性子輸送計算コードなど」について具体的に説明してください。

回答 7

中性子輸送計算コードなどについては、中性子輸送計算コードの他に、炉心核的性能計算（単位燃料集合体核特性計算コード、3次元核熱水力解析）、放射化計算コードを含みます。放射化計算コードについては、ORIGEN2 コードにて燃焼計算を実施する際に付随的に中性子フルエンス率が計算されることから、含めております。

8. 「6.1.2.4 照射条件」

- (1) 「a)個別に照射履歴を設定する方法」において、「放射化金属等ごとに(中略)適切又は保守的に代表する照射条件を設定する」と規定する「適切」について具体的に説明してください。
- (2) b)の代表照射履歴を設定する方法において、「(中略)放射化金属等のグループを適切又は保守的に代表する照射条件を設定する」と規定する「適切」について具体的に説明してください。
- (3) 末尾のなお書き「なお、換算係数法、濃度比法及び濃度分布評価法によって決定する場合は、複数の放射化金属等を適切に代表する照射条件の範囲又は分布を設定してもよい。」が適用される範囲 (6.1.2.4 全体であるか、b) のみであるか) について説明してください。
- (4) なお書きの「複数の放射化金属等を適切に代表する照射条件の範囲又は分布を設定」と規定する「適切に」について必要性を説明してください。

「標準からの抜粋」

6.1.2.4 照射条件

評価対象とする放射化金属等に関する照射条件に用いる照射時間及び照射停止時間（例 原子炉運転時間及び照射終了後の減衰時間）は、次のいずれかの方法で設定する。また、全体の計算対象時間には、運転サイクル（例 中性子照射及び照射停止時間並びに回数）も考慮する。

注記 詳細は、附属書 F 及び附属書 G 参照。

- a) **個別に照射履歴を設定する方法** 放射化金属等ごとに、中性子の照射履歴に基づき、適切又は保守的に代表する照射条件を設定する。
- b) **代表照射履歴を設定する方法** 中性子の照射履歴に基づき、放射化金属等のグループを適切又は保守的に代表する照射条件を設定する。
なお、換算係数法、濃度比法及び濃度分布評価法によって決定する場合は、複数の放射化金属等を適切に代表する照射条件の範囲又は分布を設定してもよい。

回答 8 (1)

照射条件設定の基本的な考え方は附属書 D の D.6.1 の表 D.8 に示しております。また、照射条件設定における考慮事項は D.6.2 の表 D.9 に示しており、中性子の照射時間 (D.6.2.2)、照射終了後の時間 (D.6.2.3)、照射停止時間 (D.6.2.4) ごとに、「適切」の考え方を説明しています。

例えば、照射終了後の時間 (D.6.2.3) においては、 ^{60}Co のような比較的短半減期核種の放射能濃度を評価する場合、照射終了後から廃棄体検査日までの減衰補正を行うことが、「適切」の一例として挙げられます。

なお、本標準で使用しております「適切」の個々の意味を整理したものを別紙に示します。

回答 8 (2)

回答 8 (1) と「適切」の意図するところは同じですが、放射化金属等のグループに対して代表的に適用する場合を示します。

回答 8 (3)

換算係数法、濃度比法及び濃度分布評価法のいずれの評価手法において、代表的に照射条件を設定できることから、b)に適用されるものです。

回答 8 (4)

換算係数法、濃度比法及び濃度分布評価法のいずれも評価対象をグルーピングして評価する手法であり、それぞれの評価手法に応じた照射条件の設定をする必要があることを、ここでは「適切に」と表現しています。

例えば、換算係数法においては照射量に比例する管理指標、濃度比法においては Key 核種に対する照射停止時間、濃度分布評価法においては照射条件の変動範囲が挙げられます。

9. 「6.1.3.1 放射化計算方法」において、「適切な放射化計算方法を選定し、計算範囲の中性子条件の特徴を考慮し、使用する」と規定しているが、何について適切なのか不明確ですので、具体的に説明してください。

回答 9

適切な放射化計算方法の選定に関しては、「第 2 回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答」の回答 7(2) (ご説明は第 3 回会合) にその考え方をご提示しておりますので、これを参照ください。

回答 7(2)

いずれの ORIGEN コードも放射化計算の対象としている放射化金属等の特徴によらず、放射化金属等の計算位置の中性子スペクトルを反映した放射化計算を実施することが可能です。

ただし、いずれの ORIGEN コードにおいても、検証され、分析値との比較により妥当性確認された計算コード、断面積ライブラリを使用することが必要となります。

ORIGEN コードシリーズ (ORIGEN79、ORIGEN-S) は、複数群の中性子断面積を内蔵しており、熱中性子、共鳴領域中性子及び高速中性子の中性子フルエンス率の比を入力することによって、中性子スペクトルを反映できる放射化計算コードです。

ORIGEN2 コードシリーズ (ORIGEN2、ORIGEN2.1、ORIGEN2.2) は、燃焼計算用に原

子炉型式、燃料の組み合わせに対する燃料領域における 1 群実効核反応断面積ライブラリがあらかじめ計算コードと共に準備されています。ただし、燃料領域以外については、JENDL 等の核データ及び、放射化計算位置における中性子スペクトルを用いて 1 群に縮約した断面積をユーザーが作成し、計算を実施します。

各コードに内蔵又は付属する断面積ライブラリの基となる核データ及び断面積ライブラリの取扱いについて、以下に整理します。

コード		内蔵又は付属の断面積ライブラリの基となる核データ	断面積ライブラリの取扱い
ORIGEN コード シリーズ	ORIGEN79	ENDF/B-IV	・左記の核データに基づく複数群の中性子断面積を内蔵しており、熱中性子、共鳴領域中性子及び高速中性子の中性子フルエンス率の比を入力することによって、中性子スペクトルを反映した放射化断面積を使用できる。
	ORIGEN-S	ENDF/B-VI	
ORIGEN2 コード シリーズ	ORIGEN2	ENDF/B-IV	・左記の核データに基づく原子炉型式、燃料の組合せに対する燃料領域における 1 群実効核反応断面積ライブラリがあらかじめ準備されている。 ・上記以外については、核データ及び放射化金属等の計算位置の中性子のスペクトルを用いて 1 群に縮約した放射化断面積をユーザーが作成する。
	ORIGEN2.1	ENDF/B-V JENDL-3.2*1 JENDL-3.3*1	
	ORIGEN2.2	ENDF/B-V JENDL-3.2*1 JENDL-3.3*1 JENDL-4.0*1	
*1 ORIGEN2.1 及び ORIGEN2.2 では、日本原子力研究開発機構から公開されている JENDL シリーズの ORIGEN2 用 1 群実効核反応断面積ライブラリ (ORLIBJ32、ORLIBJ33、ORLIBJ40) の使用が可能。			

10. 「6.1.3.2 計算用入力条件の設定」

- (1) 区間推定法を適用する場合の入力パラメータ及び条件はランダムに抽出するか、又は、適切な代表的条件を設定すると規定していますが、「適切」について具体的に説明してください。
- (2) 本文末尾の注記に記載する附属書 I は「(参考) 濃度比を用いる場合の計算例」、附属書 J は「(参考) 換算係数を用いる場合の計算例」、附属書 K は「(参考) 濃度分布評価法によって決定する場合の計算例」であることから、「注記 詳細は、附属書 I、附属書 J 及び附属書 K 参照。」は、「注記 濃度比を用いる場合、換算係数を用いる場合及び濃度分布評価法によって決定する場合の計算例は、附属書 I、附属書 J 及び附属

書K参照。」とした方が注記の位置付けが明確になるのではないですか。

回答 10 (1)

ランダム抽出以外の「適切な」代表的条件としましては、標準 6.1.2.2.3 及び 6.1.2.4 に記載しておりますように、次のようになります。(日本原子力学会への説明依頼事項(その1)への回答 2 を参照ください)

適切なパラメータ： 評価対象とする放射化金属等の代表とできる位置 ①におけるパラメータ、又は平均的な条件とできる各パラメータの平均値の適用

注 1) 例 チャンネルボックスの中央位置

保守的なパラメータ： 評価対象とする放射化金属等の中性子条件、照射条件、元素条件の最大値、又は信頼上限値の適用

なお、本標準で使用しております「適切」の個々の意味を整理したしたものを別紙に示します。

回答 10 (2)

標準に関するご意見につきましては、ご指摘ありがとうございます。学会での今後の本標準改定時の参考とさせていただきます。

1 1. 「B.2 元素成分条件」

(1) 表 B.2-元素成分条件(変化率は、SUS304 を想定したもの)」において、Co 及び Cu は JIS SUS304 の化学成分には規定されていませんが、SUS304 からどのように想定するか説明してください。

(2) 上記表中において元素成分 B/元素成分 A 比が Co は 10 倍、Ni は 5 倍、Cu は 0.2 倍とされています。この比の妥当性について説明してください。

(3) 解析結果の図 B.1 ほかにおいて、放射化計算の核データライブラリに JENDL3.3 シリーズ(図 B.4 は 3.2 シリーズ)が使用されていますが、同ライブラリは 2010 年 5 月に 4.0 シリーズが公開されています。4.0 シリーズを使用した場合の影響について説明してください。

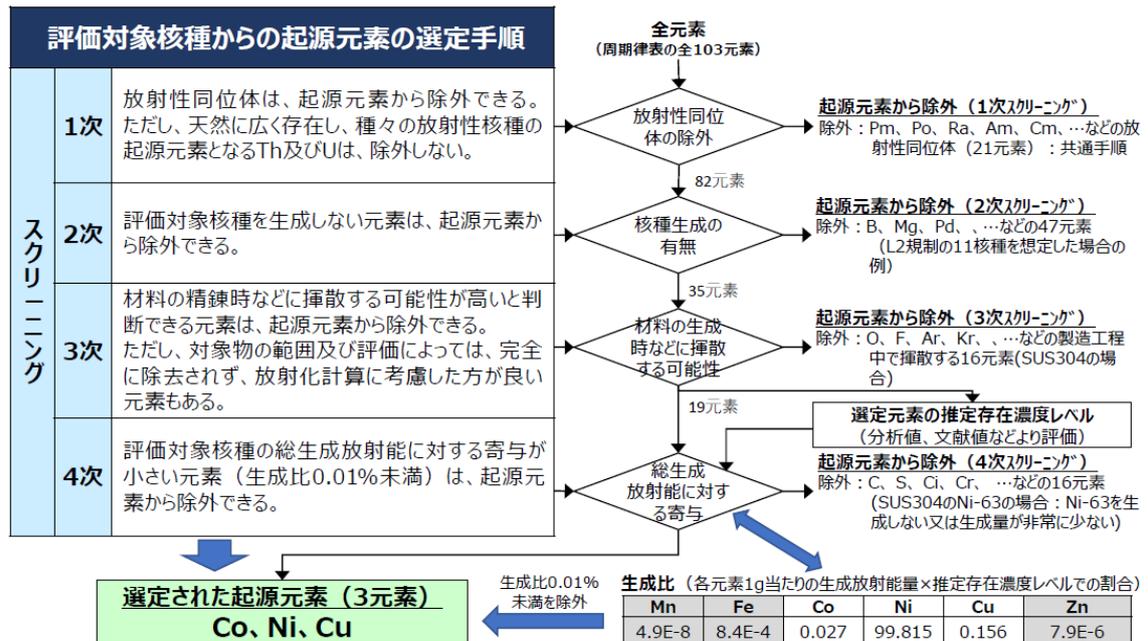
回答 11 (1)

評価対象とする元素(申請核種の起源元素)は、JIS 規格から定めるものではなく、標準 6.1.2.2.1 及び附属書 G の G.1.1 に示します起源元素の選定方法に従って、全元素を対象として、その中から選定するものです。

具体的には、「第1回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム」でご提示しました資料1-1の26ページの例（下図参照：SUS304のNi-63の起源元素の選定例）に示しております。

補足 手順1の評価対象核種からの起源元素の選定方法の例 (材質SUS304、評価対象核種Ni-63の場合の選定例)

本標準で示す評価対象核種の放射化計算の際に必要な「起源元素」の選定手順の具体例を、SUS304の評価対象核種Ni-63を例にした場合の選定手順とその過程における起源元素の選定結果例を以下に示す。



注記 附属書G (選定の前提条件: G.1.1.2、選定手順: G.1.1.3) に具体的な選定例を示している。

26

なお、選定した起源元素の元素成分濃度は、化学分析、文献、規格値などを踏まえて設定します。

回答 11 (2)

附属書 B において示しておりますのは、元素条件、中性子条件、照射条件の放射化計算の入力条件が放射化計算結果に及ぼす影響度を標準の利用者に把握してもらうために、試算した結果を示しているものです。

そのため、その設定は、B.1 に示しておりますように、放射能評価に適用する入力条件とは異なり、仮想の条件（ただし、設定した条件は明確にしたもの）で、その条件の差による影響が、放射能濃度と濃度比とに、どの程度現れるかを示したものです。

このため、設定値の妥当性を問うような性格の設定値ではありません。

B.1 概要

6.1.2 に示した各種の放射化計算の条件の変動は、条件によっては、放射能濃度及び難測定核種と Key 核種との濃度比の各々に対する影響が異なる場合があることから、適用する放射能濃度決定方法の種類に応じて、適切、又は放射能濃度評価結果が保守的となるよう条件の設定を考慮する必要がある。この附属書では、放射化計算の条件設定のための補足として、起源元素の元素成分条件、中性子条件、中性子照射条件について、想定条件における解析を行い、各条件が放射化計算結果に与える影響の程度を整理した。

回答 11 (3)

放射化計算の核データライブラリについて、JEDNL-3.2,JENDL-3.3,JENDL-4.0 を基に日本原子力研究開発機構にて整備され公開されている ORLIBJ32,ORLIBJ33,ORLIBJ40 の 1 群の放射化断面積の値の比較例を以下に示します。

BS200,BS270 は BWR の炉心条件、PWR34,PWR47 は PWR の炉心条件のスペクトルで縮約された放射化断面積です。

下表の例においては、ORLIBJ32 と ORLIBJ33 について断面積の影響は小さく、ORLIBJ33 と ORLIBJ40 についても大幅な影響がないと考えられます。

生成核種	主な生成反応*	ORLIBJ33/ORLIBJ32				ORLIBJ40/ORLIBJ33			
		BS200	BS270	PWR34	PWR47	BS200	BS270	PWR34	PWR47
C-14	N-14(n, p)	1.03	1.03	1.03	1.03	1.34	1.08	1.00	1.06
Cl-36	Cl-35(n, γ)	0.85	1.32	1.09	1.37	1.53	0.78	0.87	0.74
Co-60	Co-59(n, γ)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.22	1.05	1.00	1.04
Ni-63	Ni-62(n, γ)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.29	1.03	0.95	1.02
Nb-94	Nb-93(n, γ)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.41	0.39	0.38	0.39
Tc-99	Mo-98(n, γ)	0.99	1.00	1.00	0.99	1.05	1.07	1.08	1.07

*: アイソトープ手帳12版 (公益社団法人 日本アイソトープ協会) より

1 2. 「B.3 中性子条件」に「ORIGEN2 コードシリーズで中性子エネルギー 1 群での放射化計算を行った。」とありますが、ORIGEN2 コードシリーズ及び中性子エネルギー 1 群について、具体的に説明してください。

回答 12

ORIGEN2 コードシリーズは、ORIGEN2、ORIGEN2.1、ORIGEN2.2 のバージョンがあり、燃焼計算用に原子炉型式、燃料の組み合わせに対する燃料領域における 1 群実効核反応断面積ライブラリがあらかじめ計算コードと共に準備されています。ただし、燃料領域以外については、JENDL 等の核データ及び、放射化計算位置における中性子スペクトルを用いて 1 群に縮約した断面積をユーザーが作成し、計算を実施します。

中性子エネルギー 1 群については、ORIGEN2 コードシリーズにて用いている各エネルギー群の中性子フルエンス率を積算した 1 群の全中性子フルエンス率及び ORIGEN2 コードシリーズで使用する 1 群の実効断面積を使用することを示しています。附属書 B の計算に

においては、JENDL-3.3 ベースの 1 群の実効断面積 (ORLIBJ33) 又は対象位置のスペクトルにて縮約した 1 群の実効断面積を使用しています。

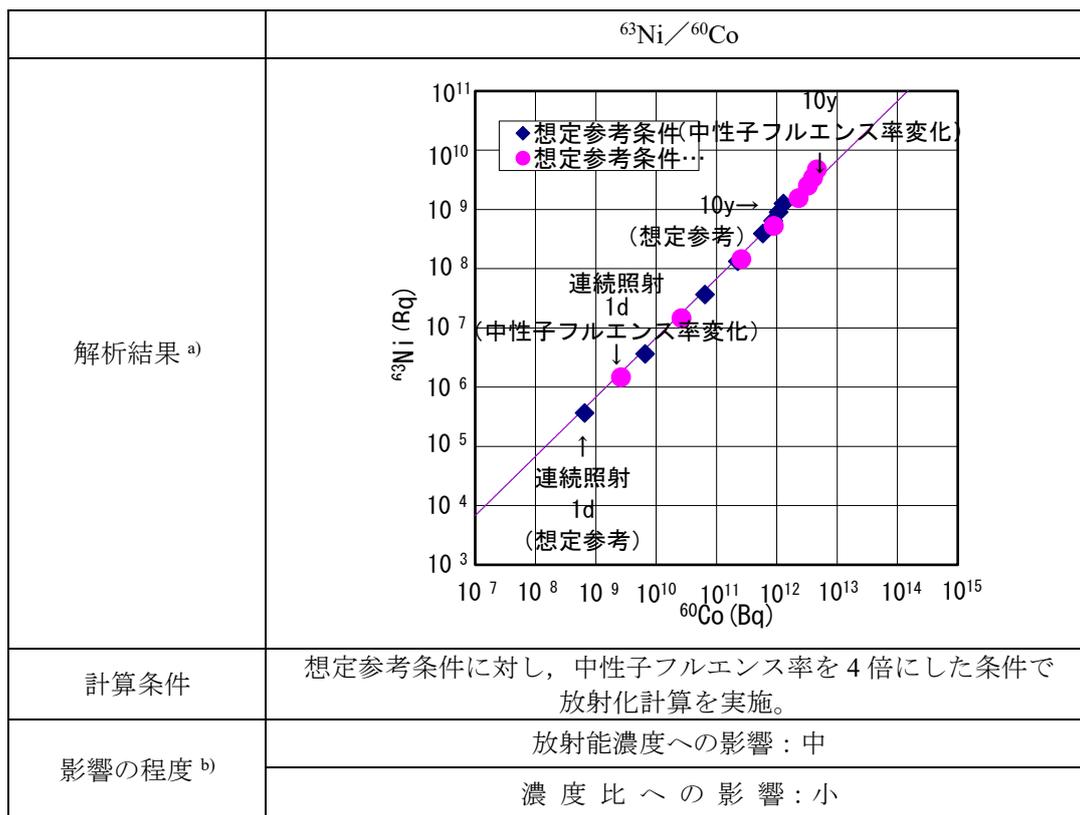
13. 「B.3.1 中性子フルエンス率」の「b)解析結果」の末尾において、「中性子フルエンス率の大小は、(中略)核種の濃度比への影響はない」と記載していますが、「表 B.3- 中性子フルエンス率の影響評価の計算条件」に示す元素成分条件は 1 点のみで濃度の大小については計算条件に入っていません。図 B.2 に示す解析結果から、濃度比への影響はないとする根拠を説明してください。(B.5 においても、「中性子フルエンス率が濃度比に与える影響は、比較的小さいため、(後略)」との記載あり。)また、ここでの濃度比は何と何の比であるのかを説明してください。

回答 13

2 種類の中性子フルエンス率の影響の評価結果は、附属書 B の図 B.2 に示しますように、評価対象核種 (Ni-63) と Key 核種 (Co-60) との濃度比 (斜め 45 度の直線) には、中性子フルエンス率による濃度比の差異は生じておりません。

なお、B.3.1 中性子フルエンス率の影響評価 (評価結果は図 B.2 参照) は、中性子フルエンス率の変化 (図 B.2 では中性子フルエンス率に 4 倍の差がある条件で比較) が、放射能濃度と濃度比 (評価対象核種の放射能濃度と Key 核種放射能濃度の濃度比) に与える影響を試算したもので、中性子フルエンス率以外のパラメータは変えずに評価しています。

また、この濃度比に差異が生じないことに関する理論的な根拠に関しましては、「第 2 回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答の回答 9(2)」及び回答 5 を参照願います。



注 a) 放射化計算コード：ORIGEN2.2，ライブラリ：JENDL3.3 シリーズ

b) 影響の程度は，“中：1桁程度の差異を生む”，“小：2～3倍程度以内の差異を生む”を意味する。

**図 B.2－放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果
(中性子フルエンス率の影響)**

14. 「B.3.2 放射化断面積」の「b) 解析結果」において、「中性子スペクトルの変化による放射化断面積の変化は、それほど大きくなく、放射能濃度及び濃度比のいずれに対しても影響は小さい」と記載していますが、「表 B.4－放射化断面積の影響評価の計算条件」に示す元素成分条件は1点のみで放射能濃度の大小については計算条件に入っていません。図 B.4 に示す解析結果から、放射能濃度及び濃度比への影響は小さいとする根拠を説明してください。(B.5 においても、「放射化断面積については、放射能濃度、濃度比のいずれに対する影響も比較的小さいため、(後略)」との記載あり。) また、ここでの濃度比は何を比較するか説明してください。

回答 14

附属書 B の図 B.4 は放射化断面積の変化として、PWR 制御棒を例として、定格出力時における全引き抜き状態の ARO バンク位置と先端が挿入状態の D バンク位置を想定した放射化断面積の違いによる放射能濃度及び濃度比への影響について確認しています。評価条件は表 B.4 に示します。

$^{63}\text{Ni}/^{60}\text{Co}$	
解析結果 a)	
計算条件	PWR 制御棒の次の条件を想定して重み付けした放射化断面積を利用して、放射化計算を実施。 放射化断面積 1： ARO バンク位置を模擬 放射化断面積 2： D バンク位置を模擬
影響の程度 b)	放射能濃度への影響：小 濃度比への影響：小

注 a) 放射化計算コード：ORIGEN2，ライブラリ：JENDL Activation File [^{59}Co (n, γ) ^{60}Co], JENDL3.2 [^{62}Ni (n, γ) ^{63}Ni]シリーズ
 b) 影響の程度は，“小：2～3 倍程度以内の差異を生む”を意味する。

図 B.4—放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果（放射化断面積の影響）

放射化断面積の違いによる放射能濃度及び濃度比への影響については、下表のとおりです。ARO バンクと D バンクの放射能濃度の比は 2～3 倍程度となっており、 $^{63}\text{Ni}/^{60}\text{Co}$ の濃度比についての ARO バンク/D バンクの比は 1.5 倍となっています。本標準での影響程度として 2～3 倍程度以内の差異を生むことを“小”としています。

表 放射能濃度への影響（ARO/D バンク）

放射能濃度(ARO バンク/D バンク) の比較 ¹⁾	
^{63}Ni	^{60}Co
3.2	2.1

注 1) 照射 5.5y の ARO バンク/D バンクの放射能濃度を示す

表 放射能濃度比への影響（ARO/D バンク）

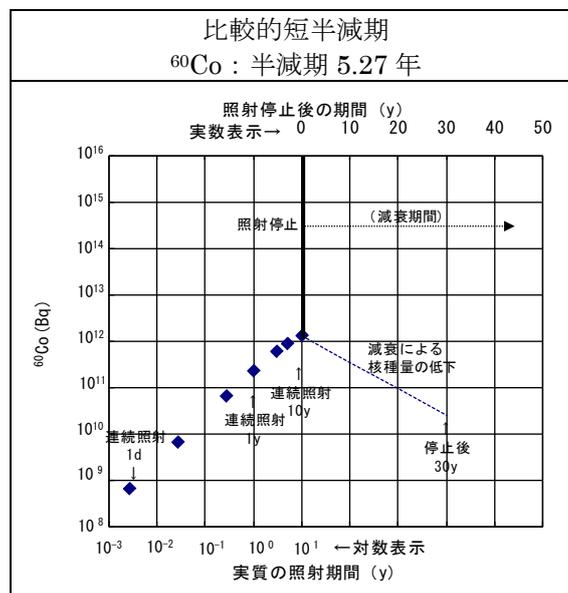
濃度比 ²⁾ ($^{63}\text{Ni}/^{60}\text{Co}$)		濃度比の比較
ARO バンク	D バンク	ARO バンク/D バンク
4.8×10^{-2}	3.2×10^{-2}	1.5

注 2) 照射 5.5y の ^{63}Ni と ^{60}Co の放射能濃度の比を示す

1 5. 「B.4.2 中性子の照射停止時間（中性子の照射停止後の核種の減衰）」の解析結果を示す図 B.7 において、連続照射 10 年の放射能を示す点から縦軸に沿って上方に太い実線が描かれていますが、この意味を説明してください。

回答 15

附属書 B の図 B.7（抜粋を下図に示す）に示しています「縦軸に沿って上方に太い実線」は、ここで照射が停止し、減衰期間に入ったことを示している時点の境界線として、記載しているもので、計算結果ではありません。



1 6. 「B.5 放射化計算の条件の影響評価結果」の文中に「濃度比」が多く記載されていますが、「濃度比法」と「濃度比」との使い分けについて説明してください。「換算係数」と「換算係数法」についても同様です。

回答 16

標準では、基本的に、下記のように用語として使い分けています。

評価方法を示す場合	濃度比法、換算係数法
評価値を示す場合	濃度比、換算係数

1 7. 「C.3 線量率測定による検証，調整」で点推定法は理論計算法の一つにしていますが、「ISO16966:2013 の Annex B には、必要に応じた、線量率測定による放射化計算結果の補正などの考え方が示されている。」とあります。線量率測定による放射化計算結果

の補正は行うのか規格としての文意を説明してください。

回答 17

ISO 標準では、米国の放射化金属の評価の実例として、線量測定結果を利用して放射化計算結果の補正を行っている実績及び廃棄体の埋設が行われていたため、これを取り込んでいますが、この方法は、必ず必要となるものではないこと（米国以外での実績、必要性の話は無かった）から、「必要に応じ」を付けているものです。

なお、原子力学会としては、線量測定結果による補正の必要性はないものと判断しています。

1 8. 「F.1.3 放射化計算」の ORIGEN-S に内蔵されている 3 群の放射化断面積について説明してください。（THERM, RES, FAST の評価式とあるのは補正式のことですか。）また、その放射化断面積の補正方法の適切性について説明してください。

回答 18

3 群の放射化断面積は、熱中性子（ ≤ 0.625 eV）、熱外中性子（ 0.625 eV ~ 1.0 MeV）、高速中性子（ ≥ 1.0 MeV）の 3 群の放射化断面積です。附属書 F の F1.3 b)2)の(1)～(3)の評価式にて算出した中性子スペクトルのデータ（THERM、RES、FAST）を ORIGEN-S に入力することで、以下の式にて中性子スペクトルを反映した 1 群実効断面積が作成され、放射化計算に使用されます。

THERM については、マクスウェル分布に従った温度補正の式となっていますが、右辺の第 2 項は熱中性子フルエンス率に対する $2,200$ m/s 中性子断面積のときの反応率であり、右辺の第 2 項及び第 3 項もそれぞれ熱中性子フルエンス率に対するそれぞれの反応率となっています。1 群実効断面積に熱中性子フルエンス率を掛けることで合計の反応率となるため、評価部位によるスペクトルの違いを反映できる適切な補正方法となっています。

$$\sigma_{\text{eff}} = \text{TERM} \times \sigma_0 + \text{RES} \times \sigma_{\text{res}} + \text{FAST} \times \sigma_{\text{fast}}$$

σ_{eff}	:	1 群実効断面積
σ_0	:	熱中性子断面積（ $2,200$ m/s）
σ_{res}	:	熱外中性子の平均断面積
σ_{fast}	:	高速中性子の平均断面積

注 SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluations, ORNL/TM-2005/39, Version 5.1, Vols. I–III, November 2006.

19. 「G.1.1.2 起源元素の選定の前提条件」の評価対象核種の選定において、政令記載核種及び規則記載核種に Nb-94 を加えた理由及び申請核種例の H-3 及び Ni-59 を除外した理由を説明してください。

回答 19

附属書 G は、計算例を示すために評価対象核種の代表例として仮に設定したものです。なお、ご指摘の「G.1.1.2 起源元素の選定の前提条件」における 3 核種の取捨選択は、次の理由によるものです。

- Nb-94 : 六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター廃棄物埋設事業変更許可申請書に示されている申請核種の一つである。(表 G.2 参照)
- H-3 : 例とした放射化金属(精錬された材料で製作されるチャンネルボックス及び制御棒)には起源元素として含まれないとして、計算例からは除外。
- Ni-59 : 浅地中処分対象廃棄物と同様に Ni-63 との比の理論計算法で評価できるとして、計算例からは除外。

表 G.2—中深度処分及び浅地中ピット処分の評価対象核種の例

中深度処分	浅地中ピット処分	
政令記載核種 ^{a)}	規則記載核種 ^{b)}	申請核種例 ^{c)}
¹⁴ C	¹⁴ C	³ H
³⁶ Cl	⁶⁰ Co	¹⁴ C
⁹⁹ Tc	⁶³ Ni	⁶⁰ Co
¹²⁹ I	⁹⁰ Sr	⁵⁹ Ni
α 核種 ^{d)}	⁹⁹ Tc	⁶³ Ni
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
	α 核種 ^{e)}	⁹⁴ Nb
		⁹⁹ Tc
		¹²⁹ I
		¹³⁷ Cs
		全 α ^{f)}

注 a) 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令 第三十一条の表に放射能濃度が記載されている核種。
 b) 核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則 第一条の二第 2 項第四号(別表第一)に放射能濃度が記載されている核種。
 c) 六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター廃棄物埋設事業変更許可申請書に放射性廃棄物の種類ごとの最大放射能濃度が記載されている核種。
 d) α 線を放出する放射性物質。“低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について”(原子力安全委員会, 2007 年 5 月 21 日)では, ²³⁸Pu が代表核種として記載されている。
 e) α 線を放出する放射性物質。“低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について”(原子力安全委員会, 2007 年 5 月 21 日)では, ²⁴¹Am が代表核種として記載されている。
 f) α 線を放出する放射性物質。六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター廃棄物埋設事業変更許可申請書の廃棄体中の放射性物質の濃度(添付書類六)では, 全 α として記載されている。

20. 「G.1.1.3 起源元素の選定手順」

- (1) 「表 G.3—放射化計算による核種生成の有無の評価例（二次スクリーニング評価）」注記3の「ORIGEN上の閾値（CutOff）は、3.7Bq (=1.0×10⁻¹⁰ Ci)とした（ただし、照射時間60yでの生成量で核種生成の有無を判断）。」について、適切性を説明してください。
- (2) 「表 G.6—起源元素の推定存在濃度レベル例（オーダー）」表下段のSUS304において、JISの規定値はMn ≤ 2.00%であるが、分析データ平均値が1.5%、文献データ平均値が1.3%であるにもかかわらず、推定存在濃度レベルが1.0%（有効数字2桁の指数表示）と評価されています。推定存在濃度レベルの評価方法について妥当性を説明してください。（Mn推定量を2.0%と評価すると、「表 G.8—四次スクリーニング評価結果例（生成比の評価による除外）（SUS304の例）」におけるMnによる⁶⁰Coの生成比0.00548%が約2倍となり0.01%を超えるので四次スクリーニングで除外できなくなる。）
- (3) 「図 G.3—元素成分条件（濃度分布）の設定方法の概念フロー」図中央部の「各元素の濃度分布基本形状選択における基本的な考え方」において、元素の種類は主成分、不純物成分及び微量成分に区分されていますが、材料特性改善のための添加元素は何に区分されるか説明してください。
- (4) コンクリートの場合に考慮すべき低沸点元素について具体的に例示してください。また、化合物となっている場合にはどのように考慮されるのかを説明してください。
- (5) 表 G.6 の推定存在濃度レベルの導出方法について、分析データ及び文献値よりも低い値が推定存在濃度レベルとなっており、6.4の数値の丸めかたに則ったものと想定するが、数値を小さく丸めることで非保守側の評価となることについて、その妥当性について説明してください。
- (6) 表 5、「原料である鉍石に含まれるが、高炉などで原料を溶解分離したときのスラグとして大半は除去」と記載されているが、例えばSrは当該項目及び「低沸点による揮発」が対象となっており、他方、Yは「スラグとして除去」のみが対象となっているが、両者とも第三次スクリーニングで除外対象となっている。第三次スクリーニングで除外できる元素の判断基準を定量的に説明してください。
- (7) 表 5、各評価項目の該当/不該当の基準が定性的に書かれており、起源元素を恣意的に選定できる可能性があることから、それぞれの基準について定量的に説明してください。

(8) 表5、「ZrTN804Dの元素のうち、Oは、機械的強度向上を目的とした添加が行われているため、評価対象（三次スクリーニング対象外）とした」とあるが、機械的強度向上を目的とした添加だと三次スクリーニング対象外となる理由を説明してください。

回答 20 (1)

附属書 G は計算例を示したもので、計算条件が示されていれば良いものです。

なお、閾値 (Cut Off) 3.7Bq は、生成比で考えれば、最も生成量が小さいもの (I-129 の $6.84 \times 10^4 \text{Bq}$) でも、有効数字 2 桁目に影響するものではありません。

更問 20 (1)

「附属書 G は計算例を示したもので、計算条件が示されていれば良いものです」と記載されています。この意味について説明してください。

更問 20 (1) への回答

実際の廃棄確認段階では、申請核種に基づき、起源元素の選定が実際に行われ、これが審査対象となります。標準の附属書では、これを行うための手順の例を示しているもので、その際の計算条件を明示することが重要ですよという意味です。

「適切性」に関しては、なお書きに示しています。

回答 20 (2)

附属書 G は計算例を示したもので、ここでの推定存在濃度レベル例 (オーダー) として考える (表では、1 及び 5 に丸めて設定) こととしており、オーダーで示しています。

このため、1 % のオーダーと設定しています。

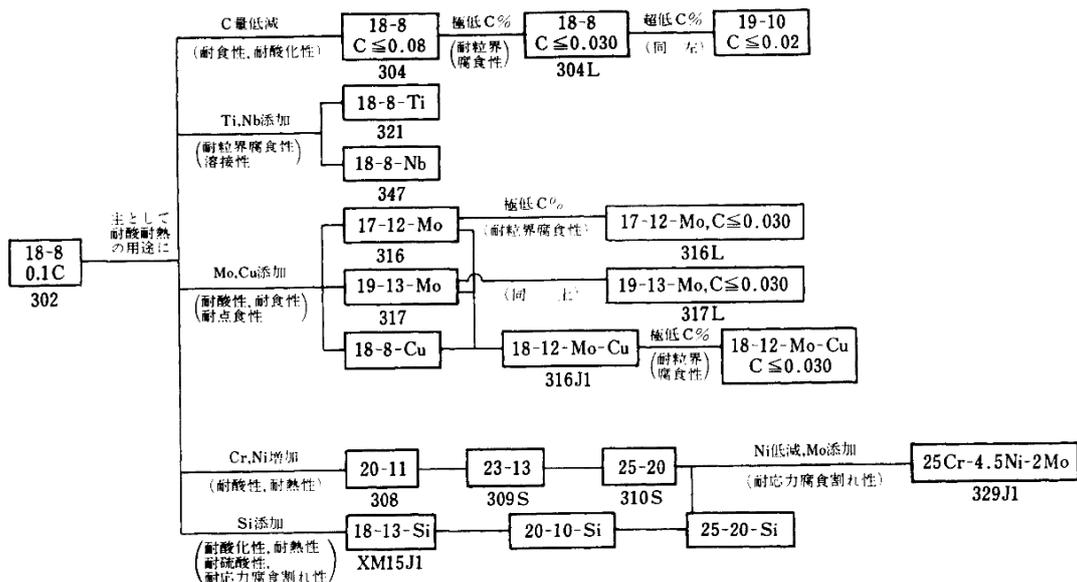
なお、ご指摘の切り捨て設定のように受け取られています Mn の 1.0 % の設定が、全て実測されている「不純物成分元素」である Mn の分析結果である 1.5 % を適用したとしても、結果としては、0.00822% ですので、結果としては同じとなります。

また、「不純物成分元素」は、JIS 規格に示される制限値より小さくなるように管理されますので、Mn の分析値は実態を良く表していると考えられます。

回答 20 (3)

標準で示しています「主成分」及び「不純物成分」は、JIS 規格に「許容変動幅」が示されているもの及び「制限値 (最大値)」が示されるものです。これ以外の元素を「微量成分」と区分しています。

なお、ご指摘の鋼材、元素が分かりませんと正確な回答はできませんが、SUS304 の強度改善のために添加される N は管理範囲のある「主成分」として管理されており、下図のように使用実績のある SUS316 鋼材の精錬の際に耐食性向上などのために、添加される Mo, Cu などとしますと、これらも成分量が管理される「主成分」と考えられます。



出典 講義 鉄鋼材料概論(7), 金属表面技術 Vol.31, No.3, 1980 より抜粋

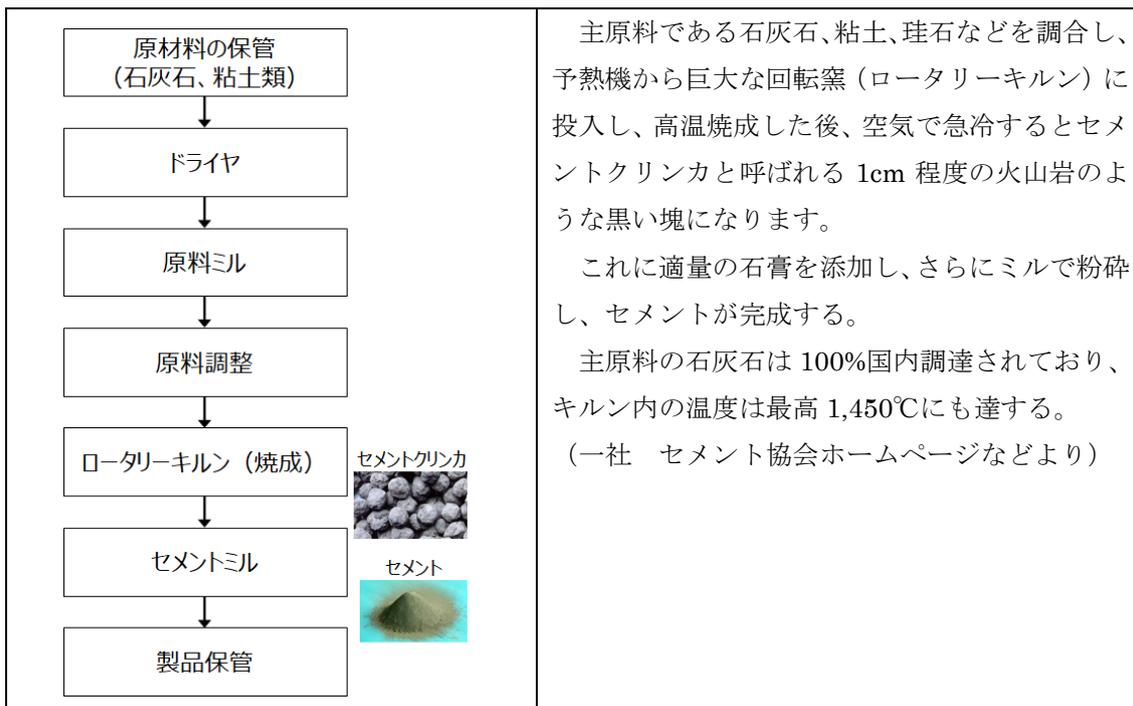
回答 20 (4)

コンクリートの場合に考慮すべき低沸点元素に対するについて具体的に例示が求められていますが、第2次スクリーニングまでを行い、残った元素を設定しないと、明確には言及できませんが一例を示します。

セメントの製造においては、次図に示しますように、原材料は製造工程中で、最高温度1,450度で焼成されます。

このため、附属書Gの表G.5の金属材料を例で示しております第3次スクリーニングでは、「低沸点による揮発」で除外されているSr, Sb, Baは除外されない点と、「スラグによる除去」及び「還元性雰囲気による除去」は、コンクリートには適用されないと考えられます。

セメントの製造工程	セメントの製造の概要
-----------	------------



回答 20 (5)

回答 20 (2) を参照ください。

回答 20 (6)

第三次スクリーニングとしては、いずれかの条件に当てはまる場合は、起源元素から除外できるものです。

ご指摘の Sr と Y の差異の「低沸点による揮発」に関しましては、Y の沸点は、3,336℃と高炉の温度 2,000℃ を大きく上回るために、このスクリーニング項目での対象とはなっていないものです。なお、Y はスラグに移行しますので「スラグとして除去」の項目で、除外されるものです。

この「低沸点による揮発」の判断基準は、SUS の場合、元素の沸点が精錬温度の 2,000℃ 以下です。

回答 20 (7)

第三次スクリーニングとしては、鋼材の製造過程の調査結果を踏まえて、下表（附属書 G の表 G.5 より抜粋）に示す除外できる理由に該当する元素かどうかを判断することとしており、その選択過程も明確に示していることから、定性的であっても恣意的な選択にはならないと考えております。また、除外出来る理由に該当するかが明確でない場合は、除外せず、第四次スクリーニング段階で評価します。

なお、定量的な判断理由は、「第 3 回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答」の回答 4 を参照ください。

スクリーニング対象	除外できる理由
スラグとして除去	アルカリ族、アルカリ土族、希土族の元素として原料である鉱石に含まれるが、高炉などで原料を溶解分離したときに化学反応によってスラグとして大半は除去される。
低沸点による揮発	製造過程における受ける温度環境（高炉では温度が 2,000 °C 近くとなる）を考慮すると、沸点から揮発する可能性が高い元素は除去される。（すなわち、鋼の場合：沸点が 2,000 °C 以下の元素が対象）
希ガス	岩石・鉱物に微量含まれるが、製造過程（温度環境（製洗、製鋼工程で受ける 2,000°C 程度の温度）、脱ガス処理（真空脱ガスなど）など）によって、希ガスが不純物として金属に混入する可能性は低い。
希少元素	希少性が高く、これ自体が不純物として金属に混入する可能性は低い。対象の白金族金属の Ru は、ハードディスク用の磁気記録膜の下地層として利用が発見され希少価値が高まったもので、白金の副産物として年間数 10 t しか産出されない。
還元性雰囲気による除去	高炉における還元性雰囲気（鉄鉱石（ Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 など）の天然鉱石の H_2 又は CO の吹付などによる還元操作）によって、精錬過程で除去される。 ただし、酸素を吹付けて脱炭する場合もあるため、この場合は除外しない。
用途が限定される	特定の用途に利用する場合だけに含まれる元素は除外される。 （アルカリ族の Rb はレアメタルであり、リチア雲母からリチウムを精製する際の副産物で原子時計などの用途、Ru は白金の副産物で、ハードディスク用の磁気記録膜の下地層や触媒などの用途、ハロゲン元素の I は、天然ガスとともに汲み上げられるかん水が原料で殺菌剤やレントゲン造影剤などの用途）。

注 1 化学的影響の一例として、精錬工程での脱硫、脱りんは、反応式 $(\text{S}+3(\text{CaO})=(\text{CaS})+\text{O})$ 、及び $(2\text{P}+3(\text{CaO})+5\text{O}=3(\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5))$ で示されるようにスラグ-メタル間の化学反応で S 及び P が除去されることが挙げられる。

（出典：鉄の高純度化精錬，まてりあ，Vol.33，No.1（1994））

回答 20 (8)

このスクリーニングで重要なのは、元素の「添加」であり、「機械的強度向上を目的」は添加の理由を示したものに過ぎません。

したがって、酸素が製鋼過程で添加されていることを踏まえ、スクリーニングの対象外とし、評価対象元素として残したものです。

2 1. 「G.1.2.2 元素成分データの収集例」の文中の「適切に代表できる」及び「保守的に代表できる」について具体的に説明してください。

「元素成分データは、評価対象とする放射化金属等の種類、原材料の品質を考慮した上で、評価対象とする放射化金属等を適切又は保守的に代表できる方法で収集することができる。」

回答 21

附属書 G の G.1.2.2 元素成分データの収集例に示しています適切又は保守的に代表できる方法は、下記のとおりです。

適切に代表できる方法： 評価対象の放射化金属と「同じ材料種類」の分析データを収集する方法

保守的に代表できる方法： 評価対象の放射化金属と「同じ材料種類」に加え、「同種の材料種類」、「鉱物・岩石などからの試料」の分析データを収集し、保守性を加える方法

2 2. 「G.1.2.3.1 元素成分条件の設定方式の選定例」

(1) 「表 G.9—元素成分条件の設定方式及び元素成分データの種類の放射能濃度決定方法に対する組合せの例」の「a) 点推定法による評価対象とする放射化金属等（廃棄物単一及び単一廃棄物グループ）の放射化計算に使用する元素ごとの濃度の代表値を一つ設定することを意味する。」の「単一廃棄物グループ」について説明してください。

(2) 表 G.11, 表 G.12 には、不純物成分元素の製造管理目標値が示されていますが、表 D.4 では不純物成分元素の濃度分布として対数正規分布を選択できると記載されています。製造管理目標値と対数正規分布の関係について説明してください。

回答 22 (1)

附属書 G の表 G.9 の注 a) に示します「点推定法による評価対象とする放射化金属等（廃棄物単一及び単一廃棄物グループ）の放射化計算に使用する元素ごとの濃度の代表値を一つ設定することを意味する。」の「廃棄物単一及び単一廃棄物グループ」は、下記のとおりです。

廃棄物単一： 評価対象とする放射化金属 1 体の意味です。

単一廃棄物グループ： 評価対象とする同じ原子炉から発生した同じ種類の放射化金属を 1 つのグループとして扱う意味です。

回答 22 (2)

一般に、鉱物などに含まれる「不純物成分元素」や「微量成分元素」は、調整が行われな
い限り、基本的に「対数正規分布」で存在すると考えられます。(第2回会合における日本
原子力学会への説明依頼事項に対する回答の回答 14(1)を参照ください。)

しかしながら、制限管理が行われる「不純物成分元素」に関しては、製造管理目標値以下
とするために、スラグ中に元素の一部を移行させる処理が行われた場合のように、濃度分布
が歪められる可能性がありますので、標準 6.1.2.2.3 に示しますように、実際の鋼材の「収
集した起源元素の分析データの濃度分布」を踏まえ、この点を確認することとしております。

表 D.4—対象とする放射化金属等の元素成分濃度の分布タイプの設定に関わる基本的な考え方

成分 管理条件	主成分元素	不純物成分元素	微量成分元素
	管理範囲がある	管理上限がある	管理値なし
基本的考え方	特定の工場，材料のロット管理が行われて製造される材料の主成分であり，材料の規格範囲内の目標値での成分の調整が行われる元素で，存在濃度範囲（濃度分布）が比較的狭い。	製造される材料中の不純物として一定の製造過程で低減又は管理される成分で，元素の濃度が比較的低い管理値以下である元素で，自然での濃度分布が材料中の各元素の濃度分布にも反映される。	管理されていない元素であり，自然での存在濃度分布が，材料中の各元素の濃度分布にも反映される。
各元素の濃度分布	正規分布	対数正規分布	対数正規分布

2.3. 「G.1.2.3.2 各元素の濃度分布形状の設定例」

(1) 「表 G.10—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（主成分）」にはジルカロイ 4 の起源元素に O（酸素）が含まれており、「JIS H 4751:2016 ジルコニウム合金管」の「表 2—化学成分」においては「酸素含有量は，受渡当事者間の協定による」とし許容変動値を 0.020%と規定されています。また、「表 G.5—三次スクリーニングで除外対象とできる元素例（ZrTN804D, SUS304 の場合の例）」の注 a)において、「ZrTN804D の元素のうち，O は，機械的強度向上を目的とした添加が行われているため，評価対象（三次スクリーニングの対象外）とした」と記載されています。「表 G.10—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（主成分）」に酸素の記載がないことの適切性について説明してください。また、附属書 G の参考文献は「JIS H 4751:1998 ジルコニウム合金管」と記載されていますが、標準策定時における JIS 等の年版適用の考え方について説明してください。

(2) 「表 G.12—SUS304 の化学成分の製造管理目標値」の「JIS G 4305:2021 冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」の「表 2—化学成分」においては SUS304 系鋼板として Cu、N 又は Nb が添加された種類の記号が規定されています。「表 G.12—SUS304 の化学

成分の製造管理目標値」に示す化学成分は SUS304 そのものの元素と管理目標値ですが、上記添加元素ありの鋼板が規格化される前は材料表示記号が SUS304 のままで実態は添加元素ありの場合も推定されます。上記添加元素を微量元素とすることの適切性について説明してください。（また、表 G.12 には Fe が残部である記載が必要です。）

回答 23 (1)

附属書 G の「表 G.10—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（主成分）」には、「O」は含まれておりません。これは、本表に引用した JIS H 4751:1998 では、化学成分の表に「O」の記載が無かったことによるものです。

なお、ご指摘のように最新の JIS H 4751:2016 では、表 2 化学成分の規定値は JIS H 4751:1998 と同じく定められておりませんが、許容変動値に「O」が加えられています。

ただし、ZrTN804D 起源元素の選定において、表 G.5 の注 a) に示しますように、製造工程で「O」の添加が考えられるため、標準では表 G.10 に加え、「O」も起源元素として考慮することとしております。

なお、JIS の年版適用ですが、製造メーカーは最新の JIS に従って製造管理を行うこととなりますので、鋼材の製造時点での JIS に準拠していることが基本的な考え方となります。

表 G.10—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（主成分）^[3]

元素	Sn	Fe	Cr	Fe+Cr	Zr
化学成分 (質量分率%)	1.2～1.7	0.18～0.24	0.07～0.13	0.28～0.37	残部

[3] JIS H 4751:1998 ジルコニウム合金管

(注記 酸素含有量は、受渡当事者間の協定によるとされている)

回答 23 (2)

JIS G 4305 : 2005（制定は 1959 年、規定鋼種の変遷は下表を参照ください）には、化学成分の表に規定されていない元素に関しては、「規定されていない元素の許容変動値については、受渡当事者間の協定による」とありますように、基本的に、勝手に元素添加は行われることはないと考えられます。

さらに、起源元素の選定を踏まえて選ばれた元素に関しては、元素の分類区分（主成分、不純物成分）に関係なく、分析データの収集が行われますので、分析後の段階で対象起源元素の濃度分布が把握、設定されることとなります。

JIS G 4305 冷間圧延ステンレス鋼及び鋼帯の規定鋼種の主な変遷

鋼種	鋼種の追加理由など	制定 1959 年	改正 1981 年	改正 1991 年	改正 2005 年
SUS304, SUS304L	メインの鋼材	○	○	○	○
SUS304N 系	窒素添加（主成分）で	—	○	○	○

	強度を高めた鋼種、LNはNb制限				
SUS304J系	深絞り性の改善（Cu添加（主成分））など	—	—	○	○
SUS304Cu	生産量多い（Cu添加）	—	—	—	○

24. 「G.2.1 概要」

- (1) 例として記載する表は「表 D.7 に示した次による」としてありますが、項目欄の「その他」に「考慮する必要のある主な事項」として表 D.7 には記載のある「温度分布」を記載していない理由を説明してください。また、「評価対象廃棄物の位置」は「評価対象廃棄物の炉内位置」ではないですか。
- (2) G.2.1 に記載する内容は「D.5.1 中性子条件の設定における基本事項」と重複する部分が多いですが、異なる部分のみを記載する方法を標準として導入することはできませんでしょうか。
- (3) 「断面積ライブラリ（核データ）としては、例えば、日本原子力研究開発機構の JENDL、米国ブルックヘブン国立研究所の ENDF/B、文献[40]がある。」としてありますが、文献[40]をもって妥当と判断できる理由を説明してください。
- [40] S.F. Mughabghab, “BNL-325 5th edition”, National Nuclear Data Center Brookhaven National Laboratory (2006).
- (4) 「この評価においては、BWR チャンネルボックス及び PWR 制御棒の照射位置ごとの中性子フルエンス率・中性子スペクトルを評価しているが、実際の放射化計算の条件の設定を目的とした中性子フルエンス率・中性子スペクトルの評価を行う場合には、中性子フルエンス率・中性子スペクトルの計算に利用するコード及び群定数について、利用の目的を十分考慮した上で、適切な手法（信頼性のある計算コード）を適用することがある。」とありますが、「適用することがある」のはどのような場合が説明してください（適用する、適用することができない?）。また、「信頼性のある計算コード」について具体例を説明してください。
- (5) 「中性子フルエンス率・中性子スペクトルを計算で求めるには、実際の状況に基づいた計算モデルを作成し、必要な精度、中性子場の形成状況などを考慮した上で、目的に合った計算コード及び群定数を用いて計算する必要がある。」とありますが、全ての評価対象核種について計算するのかどうか説明してください。

(6) 「1 群実効断面積の作成に影響を与える中性子スペクトルの特性については、あらかじめ把握しておく必要がある。」とありますが、具体的にどのような確認が必要になるか説明してください。

(7) 「b) 代表条件を設定する方法」で、「照射履歴に基づき、複数の評価対象とする放射化金属等を適切又は放射能濃度評価結果が大きくなるように代表する中性子条件を設定する方法。」とありますが、放射能濃度評価結果が大きくなるように設定する方法のほかに、適切な方法であることはどのように判断するのか説明してください。

回答 24 (1)

附属書 G は附属書 D の具体的な設定例を示す位置づけとしています。附属書 G で選定している例はチャンネルボックス本体と制御棒であり、附属書 G で例示している放射化計算では温度分布は不要なため表 D.7 での記載を削除したものとしています。また、対象廃棄物を特定していることから「評価対象廃棄物」という記載としています。

回答 24 (2)

ご指摘の通りの記載方法としておりますが、附属書 D の D.5.1 に戻らずに通りの考え方を理解頂くために重複した記載となっております。

回答 24 (3)

ENDF/B は米国 NNDC (National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory) で整備・維持されています。文献[40]も NNDC が作成しており、代表例として掲載したものであり、妥当性を論じたものではありません。

回答 24 (4)

D.5.2 b) の記載と同様となりますが、「信頼性のある放射化計算コード」のことを指しております。

炉心内の中性子フルエンス率を評価する場合に、放射化計算コード (ORIGEN2 コードシリーズ) は燃料組成、出力および燃焼期間をインプットとした燃焼計算も可能であり、その燃焼計算時に中性子フルエンス率が付随的に評価され、それを適用することがあります。

したがって、ここでの「信頼性のある計算コード」とは、ORIGEN2 コードシリーズとなります。

回答 24 (5)

評価対象とするすべての核種に対する生成反応の放射化断面積を確認・整備した上で、放射化計算を行います。

回答 24 (6)

既存の 1 群実効断面積ライブラリが準備されている ORIGEN2 コードシリーズにおいて

は、既存の 1 群実効断面積ライブラリの使用の際には、原子炉型式や燃料組成に応じて炉内で照射される放射化金属等（制御棒、バーナブルポイズン棒などの運転中廃棄物）に対して使用可能と考えます。

ただし、既存のライブラリと燃料の燃料組成や燃焼度などの条件が異なる場合については、あらかじめ中性子輸送計算をした結果からそのスペクトルの差異を把握し適用性を確認することが必要となります。

回答 24 (7)

「照射履歴に基づき、複数の評価対象とする放射化金属等を適切又は放射能濃度評価結果が大きくなるように代表する中性子条件を設定する方法」については、適切に代表する中性子条件を設定する方法と、放射能濃度が大きくなるよう代表する中性子フルエンス率及びスペクトルを設定する方法の 2 通りがあります。

前者の複数の評価対象とする放射化金属等を適切に代表する中性子条件を設定する方法については、平均的な炉心条件における評価対象の平均的な中性子フルエンス率、スペクトルを設定します。

2 5. 「G.2.2 BWR チャンネルボックスの中性子条件の設定例」

- (1) 「a) 設定手順」に示す計算手法は 3 次元解析を回転体の 2 次元解析で代替したもののようによろしくお読みください。計算手法の適切性について完全な 3 次元解析の場合と比較して説明してください。
- (2) 「b) 評価結果」に「放射化断面積は、放射化計算コードに内蔵されている値の適用を前提とした。」とありますが、「6.3.1.1 妥当性確認の方法」との整合性（適切性）を説明してください。また、「中性子条件については、必要に応じて変動を考慮した。」としているが、題目が「中性子条件の設定例」なので例示としては不明確です。考慮した変動内容について説明してください。
- (3) 「c) 中性子条件設定の考え方」における次の記載について、何を参考に条件設定をするのか説明してください。

「b)で評価したチャンネルボックスの径方向位置（最外周，中央など）ごとの中性子フルエンス率の軸方向分布を利用して，適用する放射能濃度決定方法の種類に応じて，個別条件又は代表条件の設定が必要となる。」

- (4) 「b) 評価結果」末尾に「また，制御棒の軸方向の放射能濃度分布が，図 G.13 に示す制御棒の軸方向の中性子フルエンス率分布と同様の分布であると仮定すると，制御棒の先端から 0.75 m の位置から上方の放射能は，制御棒全体の 1 %未満であるため，放射能評価におけるこの部分の重要性は低い。」とありますが、「図 G.13—PWR 制御

棒の燃料有効部上端近傍から上方に関する全中性子フルエンス率分布（2 ループプラントの例）」は横軸が「燃料有効部上端からの距離」です。図 G.13 において制御棒の先端から 0.75 m の位置がどこであるか説明してください。

- (5) 「なお、制御棒の放射能評価においては、原子炉起動時及び停止時の制御棒挿入状態での照射量は、定格出力時の ARO バンク、D バンクの制御棒が受ける照射量と比べて無視できるほど小さく、考慮する必要はない。」とありますが、廃棄体の放射能濃度の観点から、制御棒の放射能濃度を軸方向の部位ごとに評価しないことの適切性について説明してください。

回答 25 (1)

BWR チャンネルボックスの中性子条件の設定において、原子炉径方向の中性子漏れを少なくするため、通常、炉心最外周には燃焼の進んだ反応度の低い燃料を装荷するため、炉心中央部及び最外周部における軸方向分布を考慮した中性子フルエンス率・中性子スペクトルを設定しています。

単位燃料集合体核特性計算コードによって、軸方向分布を考慮してチャンネルボックス位置の中性子フルエンス率・中性子スペクトルを算出し、3次元核熱水力解析によって、炉心中央部及び最外周部におけるボイド率で内挿、出力密度補正を行い、炉心中央部及び最外周部における軸方向分布を考慮した中性子フルエンス率・中性子スペクトルを設定します。

3次元解析から中性子フルエンス率・中性子スペクトルを直接設定していませんが、3次元核熱水力解析によって、炉心中央部及び最外周部におけるボイド率で内挿、出力密度補正を行っており、適切な評価手法となっています。

回答 25 (2)

「放射化断面積は、放射化計算コードに内蔵されている値の適用を前提とした。」については、内蔵された放射化断面積は妥当性が確認されたものであることを A.4.2「計算の準備段階」において確認することを指しています。

「中性子条件については、必要に応じて変動を考慮した。」については、回答 25(1)のとおり、3次元核熱水力解析によって、炉心中央部及び最外周部におけるボイド率で内挿、出力密度補正を行ったことを指しています。

回答 25 (3)

チャンネルボックスを個別に評価するときは個別の配置位置を参考にし、代表で評価するときには附属書 I の表 I.11 に示すようにグループにおける配置位置を参考にして、放射能濃度評価結果が大きくなるように、代表条件を設定します。

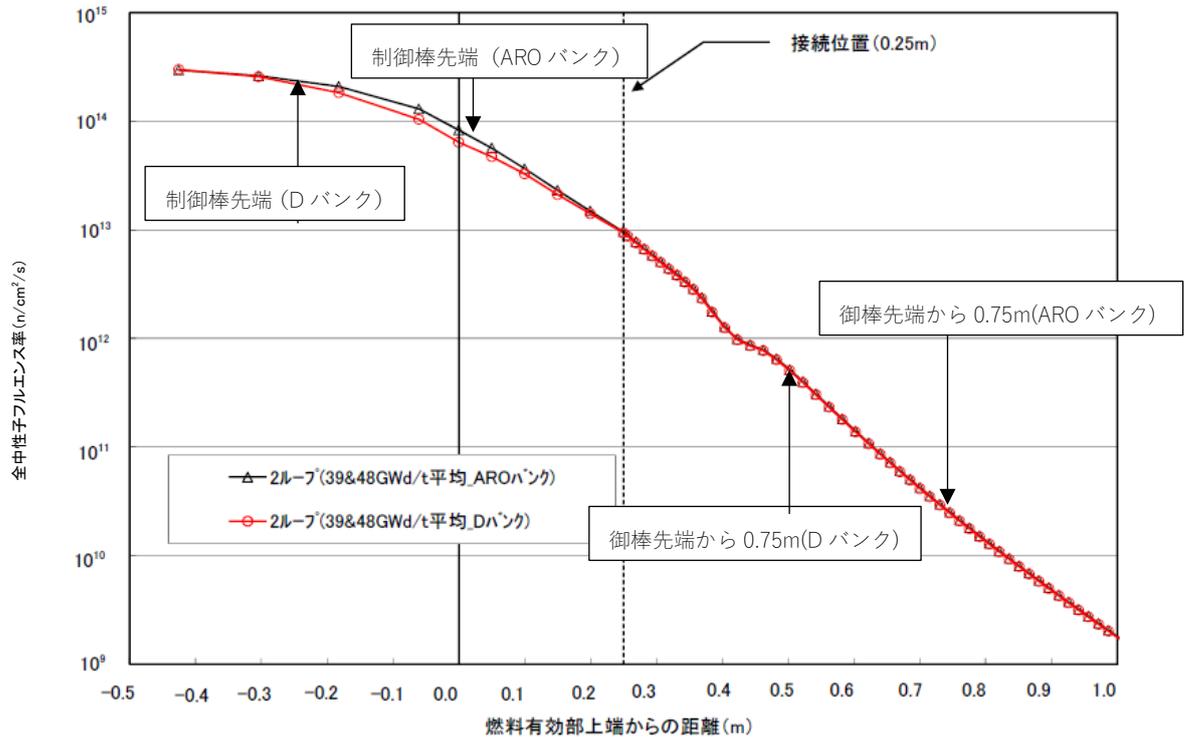
表 I.11—ZrTN804D (BWR チャンネルボックスの本体) の配置位置の設定

運転サイクル数 ^{a)}		出現頻度分布	配置位置の設定条件 (ローテーションの種類 ^{d)})
サイクル数	中性子照射時間		
1	2 年未満	固定 ^{b)}	A : 中央
2	2 年以上, 3 年未満	配置ローテーションの 種類の一様分布 ^{c)}	B : 中央→中央 C : 中央→近傍
3	3 年以上, 4 年未満	配置ローテーションの 種類の一様分布 ^{c)}	D : 中央→中央→中央 E : 中央→近傍→中央
4	4 年以上, 5 年未満	配置ローテーションの 種類の一様分布 ^{c)}	F : 中央→中央→中央→中央 G : 中央→中央→近傍→中央 H : 中央→中央→中央→最外 I : 中央→中央→最外→最外 J : 中央→近傍→最外→最外
5	5 年以上	配置ローテーションの 種類の一様分布 ^{c)}	K : 中央→中央→中央→中央→最外 L : 中央→中央→中央→最外→最外 M : 中央→中央→近傍→最外→最外

注^{a)} 中性子照射時間に応じて運転サイクル数を設定。
^{b)} 中性子照射時間 2 年未満の場合は、配置位置のローテーションは、行わず、原子炉の中央部で継続的に照射される。
^{c)} 範囲を評価することが重要であり、代表的な配置位置のローテーションの種類ごとに同じように選択するとした。
^{d)} 原子炉内での運転サイクルごとの代表的な配置位置のローテーションの種類 (代表的な装荷位置の組合せ)。
 中央：原子炉内の中央部、最外：原子炉内の最外周部、近傍：制御棒近傍位置、を意味する。

回答 25 (4)

附属書 G の「図 G.13—PWR 制御棒の燃料有効部上端近傍から上方に関する全中性子フルエンス率分布 (2 ループプラントの例)」において、制御棒の先端から 0.75m の位置は以下の位置となります。



注記 図 G.11 に示す燃料有効部上端 0.25 m までの MCNP による中性子フルエンス率分布の平均値を基に、0.25 m から上方については、二次元輸送計算コード DORT による中性子フルエンス率分布を接続している。

図 G.13—PWR 制御棒の燃料有効部上端近傍から上方に関する全中性子フルエンス率分布 (2 ループプラントの例)

回答 25 (5)

制御棒の放射能濃度については、附属書 G の図 G.13 に示すとおり、制御棒に照射される中性子フルエンス率分布は先端部から 0.75m 以上については先端部から 2 桁以上減衰しており先端部に比べて放射能濃度は十分低くなると考えられることから、制御棒の軸方向のすべてについて位置ごとに評価しないことについては適切です。

2 6. 「G.3 照射条件設定における考慮事項」で参照する附属書 G は放射化計算の入力条件の設定例を記載したのですが、G.3 項は「照射条件を設定する場合に考慮する必要がある基本的な事項は表 D.9 に示した次による。」と記載し、具体例が記載されていません。G.3 項の必要性について説明してください。

回答 26

放射化計算の入力条件の設定項目として、元素条件、中性子条件、照射条件として記載している項目です。考慮事項は、附属書 D に示しているため、これを引用する形としたものです。

27. 「H.1 概要」の「図 H.1－検出困難元素の濃度分布評価の基本的な考え方」で検出困難元素の濃度分布が対数正規分布を示すという考え方を採っているが、その場合は図 H.1 の横軸を元素濃度(%)ではなく元素濃度(log%)と表示する方が適切ではないですか。

回答 27

附属書 H などに示しています濃度分布図は、基本的に 10 のべき乗表記(1×10^{10} 又は $1E10$) としておりますので、軸の単位は、元素濃度(%)で誤解は生じないと考えます。

28. 「H.2 考え方」の「ただし、鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データを検出困難元素の標準偏差の設定に利用するためには、次の確認が必要である。」として産地及び種類によらず標準偏差が同程度の対数正規分布を示すこと及び標準偏差が材料の製造工程の影響を受けないことを挙げています。これらの条件を満たすことのできない検出困難元素が存在する場合にはどのように評価するのか説明してください。また、ここでいう「種類」とは何を指しているのか説明してください。

回答 28

「条件を満たすことのできない検出困難元素」の場合は、この設定方法（同一の元素又は化学的性質が類似した元素の既知の濃度分布から設定する方法）は採用できず、附属書 D の D.4.3 に示します「検出下限値」を平均値として適用する方法になります。

また、「種類」とは、収集した分析データの「鉱物・岩石など」の種類で、附属書 H の表 H.2 などに示しています種類を意味しています。具体的には、「技術評価に関する検討チーム第 3 回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答」の回答 9 を参照ください。

29. 「H.2.4 検出困難元素の濃度分布評価方法」

(1) 図 H.17－SUS304 の製造工程及び製造工程中の Cl, Th 及び U の挙動調査結果（一例）」には、原材料・銑鉄工程にスクラップ（購入スクラップ、リターンスクラップ）材が含まれています。スクラップ材には意図しない循環性元素（トランプエレメント）の存在が否定できず、濃縮されて検出可能レベルの濃度に達している可能性もあります。「図 H.2－製造工程を考慮した検出困難元素の標準偏差の基本的な設定方法」にはスクラップ材が混入している材料の場合のフローが記載されていませんが、循環性元素の濃度分布評価方法について説明してください。

(2) 「b) 平均的な標準偏差の設定方法」において、平均的な標準偏差の設定方法のイメージ図（例）を図 H.3 に示していますが、横軸が対数でない標準偏差データの分布形状に

各データ群の標準偏差データ（対数正規分布）が分布するとしていることについて適切性を説明してください。

- (3) 「c)検出困難元素の濃度分布評価 検出困難元素の濃度分布として、平均値及び標準偏差を設定する。平均値は、図 H.1 に示したように、評価対象廃棄物（材料）の元素分析データの検出値又は検出下限値を推定する元素の濃度分布の上限値として、b)で選択・設定した検出困難元素の平均的な標準偏差（鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データで設定）を利用して設定する。濃度分布の上限値の位置（例 濃度分布の上限値＝平均値＋ 2σ の濃度）は、放射化計算で得られる廃棄物濃度の保守性を踏まえ、適切に設定する。」とあります。一方で、「濃度分布の上限値の位置（例 濃度分布の上限値＝平均値＋ 2σ の濃度）は、放射化計算で得られる廃棄物濃度の保守性を踏まえ、適切に設定する。」とありますが、その方法を具体的に説明してください。

回答 29 (1)

評価の対象は、製品となった後の鋼材（鉱石、スクラップを製鋼した鋼材）中の起源元素に選定された元素です。示しています製造工程の説明は、精錬工程の温度条件、化学条件を把握する意味で示しているものです。

なお、この鋼材中の起源元素の濃度分布の設定においては、基本的な考え方に沿った濃度分布（正規分布及び対数正規分布）での評価を進めますが、あくまでも鋼材（品質保管サンプルが主体）の元素分析データで確認を行うこととしておりますので、この段階で検出できる元素は把握されます。

回答 29 (2)

図の横軸（標準偏差）は、対数正規分布の場合は対数で、正規分布の場合は実数を意味しています。

（あくまでも模式図ですので、横軸を単に標準偏差として簡易に示しています）

回答 29 (3)

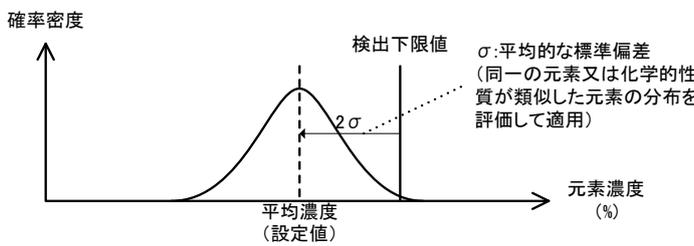
入力条件を設定するための濃度分布の上限値の位置（すなわち、標準偏差を踏まえて定める平均値の位置との差）は、放射化計算で得られる廃棄物濃度の保守性を考慮すると、元素分析条件は、平均値は高く、標準偏差は小さく評価することによって、より保守性が得られるため、次のような考え方で附属書 D の表 D.6 に示す濃度分布条件設定方法及び分析数に応じて、設定平均と標準偏差に保守性を加えて設定します。

この保守性の例としては、下記のような例が考えられます。

設定平均値： 「検出下限値＝設定平均値＋ 2σ 」の位置の濃度を、さらに、「検出下限値＝平均値＋ 1σ 」の位置の濃度で評価する。

設定標準偏差： 鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データの標準偏差の平均値を、標準偏差の平均値の信頼下限で評価する。

表 D.6—元素分析データに検出下限値しかない元素の濃度分布条件設定方法

方法	方法の概要	保守性の考慮
検出下限値以下で、元素の濃度分布を仮定する方法	元素分析データの検出下限値を最大値とする濃度分布を、既知の試料の標準偏差を利用して設定する方法。	<p>例 3 に示すとおり、 平均濃度: 分析した数が比較的多い場合は、保守的に検出下限値を濃度分布の+2σの位置とし、逆算して設定する。 分析した数自体が少ない場合は、分析した数を考慮して、保守性を考慮する。 濃度分布の標準偏差: 平均的な標準偏差などの濃度分布条件を設定する（例えば、不純物成分元素及び微量成分元素であれば、同一の元素又は化学的性質が類似した元素の分布を参考にした標準偏差を設定など）。</p>  <p>例 3 検出下限値以下で分布を設定する場合のイメージ</p>

c) **検出困難元素の濃度分布評価** 検出困難元素の濃度分布として、平均値及び標準偏差を設定する。平均値は、**図 H.1** に示したように、評価対象廃棄物（材料）の元素分析データの検出値又は検出下限値を推定する元素の濃度分布の上限値として、**b)** で選択・設定した検出困難元素の平均的な標準偏差（鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データで設定）を利用して設定する。濃度分布の上限値の位置（**例** 濃度分布の上限値＝平均値＋2 σ の濃度）は、放射化計算で得られる廃棄物濃度の保守性などを踏まえ、適切に設定する。

なお、上記で設定した平均値と、**b)** で選択・設定した検出困難元素の平均的な標準偏差とが、**6.1.2.2.3** に示す起源元素の元素成分条件（濃度分布から設定）となる。

30. 「附属書I（参考）濃度比を用いる場合の計算例」の文中に「濃度比」が多く登場しますが、濃度比法を指す濃度比と化学分量を指す濃度比とが混在しているように読めます。使い分けについて説明してください。

回答 30

基本的に、「濃度比」は下記のように評価対象核種の放射能濃度と Key 核種の放射能濃度との比を示す用語として使用しています。

なお、附属書 I では、化学分量を指す比に対しては、「濃度比」は使用しておりません。

評価方法を示す場合	濃度比法
評価値を示す場合	濃度比(評価対象核種濃度と Key 核種濃度)

3 1. 「I.1.4 適用方法」

- (1) 「a) Key 核種の選定」において、次のいずれかに適合する Key 核種を選定としているが、理論計算法ではすべての核種の放射能濃度を放射化計算により求めるところ、2) で Key 核種を選定する理由を説明してください、また、2)について、放射能濃度を放射化計算によって算出できない核種の詳細を説明してください。
- 1) 外部から検出が比較的容易な γ 線放出核種である。
 - 2) 評価対象廃棄物ごとの放射能濃度を放射化計算によって算出できる核種である。
- (2) 「c)濃度比の決定方法 2)濃度比決定のための放射化計算結果(評価データ)の充足性」において、「評価対象廃棄物中の難測定核種及び Key 核種の濃度比の値を決定するための放射化計算結果の数が、十分であるかどうかの判断」において参考としている「適切なデータ数の取得の考え方」について、ISO21238:2007 に示されている内容を説明してください。また、「放射化計算の追加によって統計値の安定性に明確な向上が見込めなければ、十分と判断してよい」とする数値の判断基準を説明してください。

回答 31 (1)

附属書IのI.1.4 a)に示しています濃度比法に適用する Key 核種の選定は、具体的には、下表に示す方法を想定しているものです。

このため、当たり前の条件ですが、選定方法ごとの条件として記載したもので、放射化計算によって算出できない核種を想定しているものではありません。

Key 核種の選定方法	条件
非破壊外部測定で測定	外部から検出が比較的容易な γ 線放出核種である。
理論的方法で決定	評価対象廃棄物ごとの放射能濃度を放射化計算によって算出できる核種である。

回答 31 (2)

日本原子力学会への説明依頼事項(その1)への回答の回答 6(4)を参照ください。また、判断基準ですが、第3回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答の回答 13(4)の追加質問(放射化計算の充足数として、40点で良いのか)への回答を参照願います。

3 2. 「I.2.1 事前準備」の「c)放射化計算コードの選定」において、放射化計算コードとして ZrTN804D (BWR チャンネルボックス本体) には ORIGEN-S、SUS304 (PWR 制御棒被覆管) には ORIGEN2 が選定されていますが、その適切性について説明してください。

回答 32

BWR チャンネルボックスの放射化計算に ORIGEN-S を適用するために、附属書 F の図 F.1 の計算フロー、表 F.1 の計算条件を用いて、チャンネルボックスでの中性子スペクトル (附属書 G の図 G.5～図 G.7) を考慮して放射化断面積を設定しています。このため適切な評価と言えます。さらに、F.1.4 では、ORIGEN-S を用いた放射化計算結果と、放射化分析結果を比較して、適切性 (妥当性) を確認しています。

PWR 制御棒の放射化計算に ORIGEN2 を適用するために、図 F.4 の計算フロー、表 F.2 の計算条件を用いて、制御棒吸収材内での中性子スペクトル (図 G.12) を考慮した放射化断面積 (評価では b) D バンクにて代表) を設定しています。このため適切な評価と言えます。さらに、F.2.4 では、ORIGEN2 を用いた放射化計算結果と、放射化分析結果を比較して、適切性 (妥当性) を確認しています。

3 3. 「I.2.2.1.2 元素成分条件の設定」

(1) 「d)各元素の濃度分布条件の設定」 「2)元素分析データ数が非常に少ない元素」において、「なお、標準偏差には、全ての元素の標準偏差の分布の小さいほうから 90%の範囲を包含する条件 (ここでは、対数正規分布として、標準偏差=0.5 (対数)) を設定することで、保守性を見込む。」とありますが、標準偏差の累積度数分布の 90%に相当する標準偏差値 (対数) を設定することの適切性 (95%としない根拠) について説明してください。

(2) 「d)各元素の濃度分布条件の設定」 「3)元素分析データに検出下限値しかない元素」において、「実際の元素濃度分布は、検出下限値より低い濃度領域にあるが、ここでは、元素濃度分布がより高い濃度で分布するように、検出下限値が元素濃度分布の $+2\sigma$ (分布の 95.4 %を包含する範囲の上限値) の位置と仮定し、濃度分布の標準偏差を利用した平均値を設定」とあり、「図 I.3-元素分析データに検出下限値しかない元素の濃度分布条件の設定方法及び結果」において、不純物 Co、Nb、Mo は濃度分布基本形状を対数正規分布と選択しています。不純物 Co、Nb、Mo について、検出下限値しかない元素に分類したこと及び濃度分布基本形状を対数正規分布と選択したことの妥当性について説明してください。

<参考>

- ・「D.4.2 各元素の濃度分布基本形状の設定」において、不純物成分元素は材料製造時に成分管理目標値などを定めて調整を行うもの、微量成分元素は成分管理目標値などが定まっていないものと区別されている。
- ・ZrTN804Dを規定するJIS H 4751:2016においては、化学成分及び不純物の分析試験方法について、O、H及びN以外は受渡当事者間の協定によると規定しており、検出下限値は明確でない。
- ・JIS規格等において不純物の許容値及び許容変動値を規定していることは、不純物が許容値を上回る原材料が含まれることもあるが、製錬工程において混合させることで希釈又は脱処理し全体として許容値以下を達成していると理解できる。

(3) 「表 I.3－各元素の元素分析データ収集結果 (ZrTN804D)」の注記1において、「対数正規分布の標準偏差は、“平均値+1σ”で表示」とありますが、平均値を加算する意味について説明してください。

回答 33 (1)

附属書 I の I.2.2.1.2 での設定の例は、附属書 D の表 D.5 に示します「検出値を平均値として使用する方法」に、さらに保守性を考慮した標準偏差 (分布を広めに設定する) の適用例を示したものです。

この標準に示しております標準偏差への保守性の見込み方に関して、標準に掲載しています分析データ (附属書 I の表 I.3 及び表 I.4) の対数正規分布で評価している下記の元素のデータの標準偏差を例に、標準で言及している例としての標準偏差の設定の考え方と設定標準偏差を示します。

標準偏差の試算例に適用した元素

ZrTN804D	SUS304
N, O	N, S, Co, Cu, Nb, Mo

この試算例では、標準偏差を大きく設定する方がより保守的であることから、「小さいほうから 90%の範囲を包含する条件」は、「平均標準偏差の信頼上限値」より保守的な設定ができるものです。

保守的な標準偏差の設定の考え方と適用試算例

標準偏差の設定方法	条件設定の考え方 (保守性の考え方)	設定標準偏差 (対数)
標準偏差の平均値 (基本)	収集したデータ群の標準偏差の平均値で設定するもの。 (データ数が十分にある場合)	0.3
平均標準偏差の 信頼上限値	保守性は、平均に対して見込み、99%信頼上限の標準偏差で設定する保守性を見込むもの。	0.4

小さいほうから 90% の範囲を包含する標準偏差	保守性は、標準偏差の平均 (0.3) に対して、標準偏差の小さい方から累積を取った場合の 90% を超える (計算例では 93%) 標準偏差 (0.44) を適用することで見込む。(例では丸めて適用)	0.5
標準偏差の分布の +2 σ の標準偏差	保守性は標準偏差の平均に対して見込み、約 95% の範囲をカバーする上側の 2 σ で設定することで見込む。	0.6

表 D.5—元素分析データが非常に少ない元素の濃度分布条件設定方法 (抜粋)

方法	方法の概要	保守性の考慮
検出値を平均値として使用する 方法	元素分析データの検出値の平均値を推定する分布の平均値として適用し、加えて、保守性をもつ標準偏差を適用して、濃度分布を設定する方法	<p>例 1 に示すとおり、</p> <p><u>平均濃度:</u> 検出値の平均値とすることで、保守性を見込む。</p> <p><u>濃度分布の標準偏差:</u> 保守的な標準偏差を適用して、保守性を見込む (例えば、各元素のデータ群の標準偏差の分布の 90% までを包含する値など)。</p>
	<p>例 1 検出データの平均値を使用した元素濃度分布設定のイメージ</p>	

回答 33 (2)

ZrTN804D の JIS 規格 (JIS H 4751) における化学成分条件を踏まえますと、不純物成分に該当する Co、Nb、Mo に関しましては、附属書 I の表 I.3 に示しますように、実際の元素分析結果において許容値の約 1 桁低い検出下限値でも分析による検出値が得られておりません。このため、検出下限値しかない元素として扱っています。

さらに、このような低い濃度領域においては、濃度分布の分布形状の基本的考え方として示しました対数正規分布を適用することで評価できると考えます。(対数正規分布に関しましては、第 2 回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答の回答 14(1)を参照ください。)

元素	不純物の許容値 (%)	元素分析での検出下限値 (%)
Co	2 E-3 以下	3.3E-4

Nb	1 E-2 以下	2.9E-3
Mo	5 E-3 以下	3.3E-4

回答 33 (3)

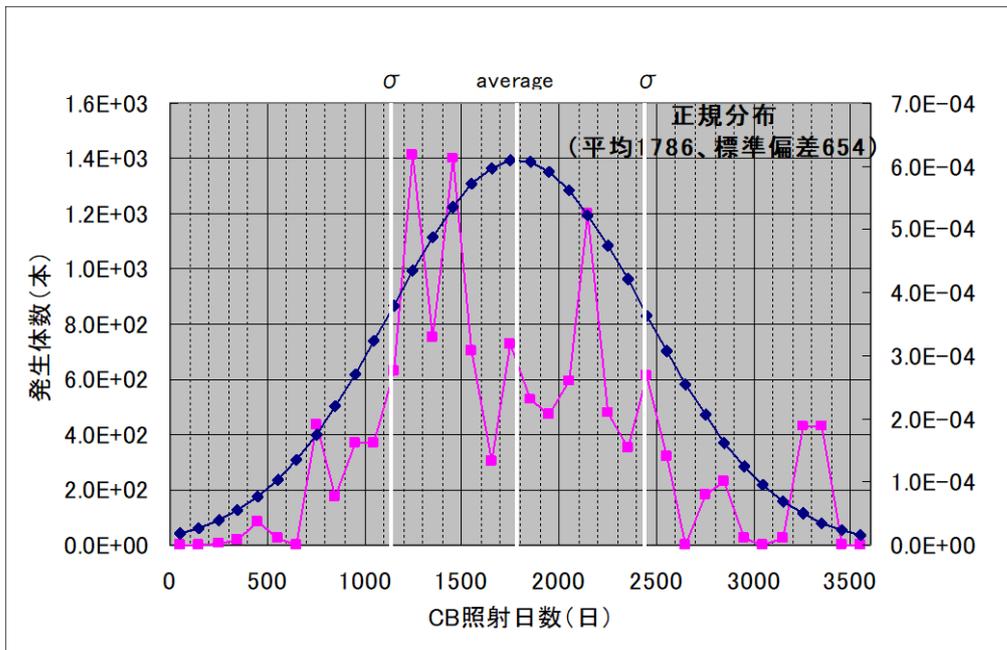
対数正規分布の場合、対数による表記では、標準偏差自体を数値（例 ±1.0）で示しても、誤解は生じませんが、実数（例 1.0E10）で平均値を示した場合、標準偏差を±の実数で示すことが出来ませんので、標準偏差の大きさを把握してもらうために、“平均値+1σ”の値を標準偏差の値の代わりに上片側のみ示したもので、「1σ」を加えることを意味したものではありません。

3.4. 「I.2.2.3 中性子照射条件」の「表 I.14-ZrTN804D(BWR チャンネルボックスの本体)の照射時間の出現頻度分布の設定」の中性子照射時間の設定条件は、平均値=1,786 日、標準偏差=654 日としています。また、「表 I.15-SUS304 (PWR 制御棒の被覆管)の中性子照射時間の出現頻度分布の設定」の中性子照射時間の設定条件は、D バンクが指数分布で $y = 534.12e^{-0.8254x}$ (x : 中性子照射時間 (年), y : 発生頻度)、ARO バンクが正規分布で平均値=7.68 年、標準偏差=2.92 年としています。これらの数値の妥当性について説明してください。

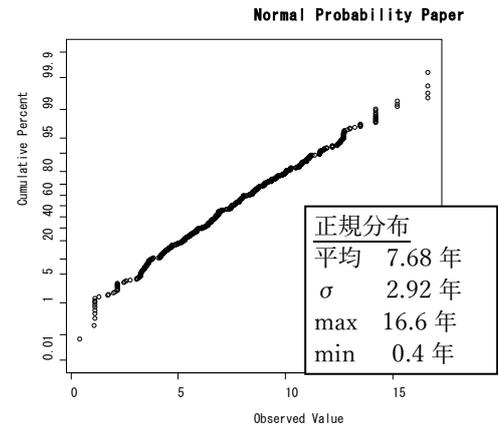
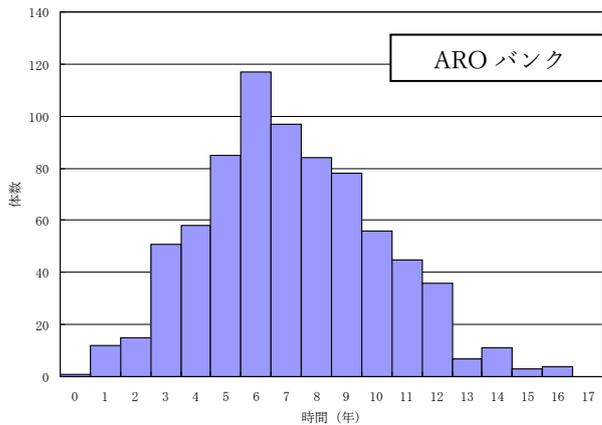
回答 34

「表 I.14-ZrTN804D (BWR チャンネルボックスの本体) の照射時間の出現頻度分布の設定」の照射時間の設定については、約 13,000 体の燃焼度の実態調査結果を踏まえ、下図に示すとおり、照射期間の分布形状にフィットするような正規分布を仮定し設定しています。

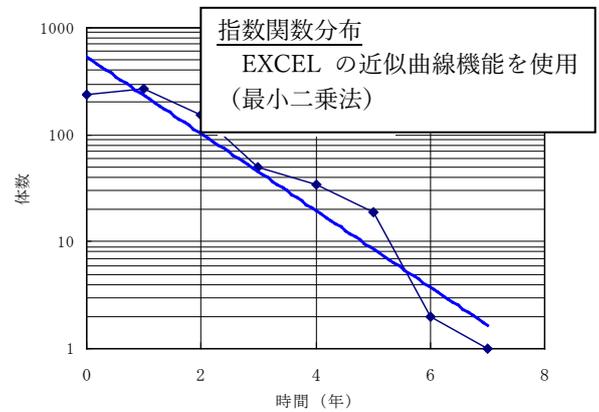
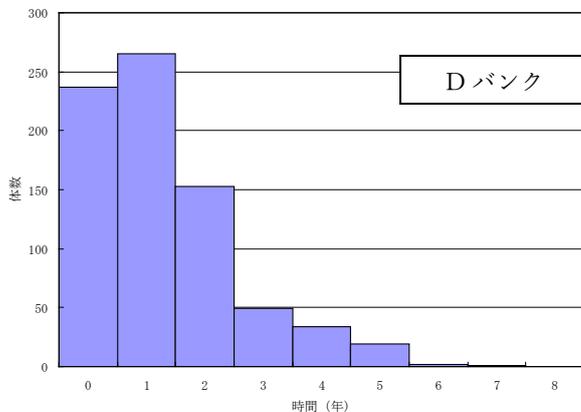
「表 I.15-SUS304 (PWR 制御棒の被覆管) の中性子照射時間の出現頻度分布の設定」の照射時間の設定については、PWR 全電力の制御棒 (7 百数十体) の中性子照射履歴の実態調査により、下図に示すとおり、その実態の照射期間の分布形状にフィットするような正規分布、指数分布を仮定し設定しています。



事業者から提示のあった BWR チャンネルボックス照射時間の分布



AROバンクでの照射時間の度数分布 (全プラント)



Dバンクでの照射時間の度数分布 (全プラント)

Dバンクでの照射時間の度数分布 (全プラント)

事業者から提示のあった PWR 制御棒の中性子照射時間の分布

35. 「J.1.1 考え方」に「評価対象廃棄物のもつ管理指標の値の範囲を考慮して代表的な中性子照射量を設定し、平均的又は放射能濃度評価結果が大きくなるような中性子条件で放射化計算を実施する。」とありますが、「平均的な中性子条件」と「放射能濃度評価結果が大きくなるような中性子条件」での換算係数を用いた結果が同等となるプロセスについて説明してください。

回答 35

平均的な結果を得たいのか保守的な結果を得たいのかの評価目的によって設定すべき中性子照射量を選定するという意図であり、大小関係において同等となるということを意味してはおりません。

3 6. 「J.1.4.2 換算係数の決定方法」の「b)換算係数の妥当性の評価」について、「換算係数の妥当性は、詳細計算とサンプリングによる測定結果との比較などによって、その妥当性を、適用前にあらかじめ検証しておくことが必要」とありますが、その「詳細計算」の方法について説明してください。

回答 36

附属書の J.1.3 放射化計算には、換算係数を設定する場合の計算条件が整理されています。J.1.4.2 で述べた「詳細計算」とは、これらの計算条件を詳細化した場合に対応しており、以下の条件のように整理されています。

- 元素成分条件： 「サンプリングによる測定」を行う計算対象の元素成分
- 中性子条件： 「サンプリングによる測定」を行う計算対象位置の中性子フルエンス率・中性子スペクトル
- 中性子照射条件： 「サンプリングによる測定」を行う計算対象の中性子照射停止時間

3 7. 「J.2.4.2 換算係数の決定方法」では、「図 J.2-ZrTN804D (BWR チャンネルボックス) の換算係数の例 (管理指標：集合体平均燃焼度)」及び「図 J.3-SUS304 (PWR 制御棒の被覆管) の換算係数の例 (管理指標：中性子の照射量)」を例示するだけで換算係数の決定方法についての記述がありません。決定方法について説明してください。

回答 37

質問 37 と質問 38 の換算係数と放射能濃度の決定方法については、以下にまとめて回答します。

附属書 J の図 J.1 に換算係数を用いる場合の評価手順の概略を記載しています。換算係数の決定については次のとおりです。

図 J.1 の 3 つ目の手順「管理指標から設定される代表的な照射点と平均的若しくは保守的な中性子条件などで、放射化計算を実施」を行い、図 J.1 の 4 つ目の手順「管理指標と放射能濃度の関係から換算係数を算出」により、図 J.2 及び図 J.3 に示す管理指標に対する換算係数の値として決定します。

放射能濃度の決定については、図 J.1 の 5 つ目の手順「評価対象廃棄物がもつ管理指標の値から放射能濃度を決定」において、上記で決定した換算係数と評価対象廃棄物の管理指標をかけ合わせることで、放射能濃度を決定します。

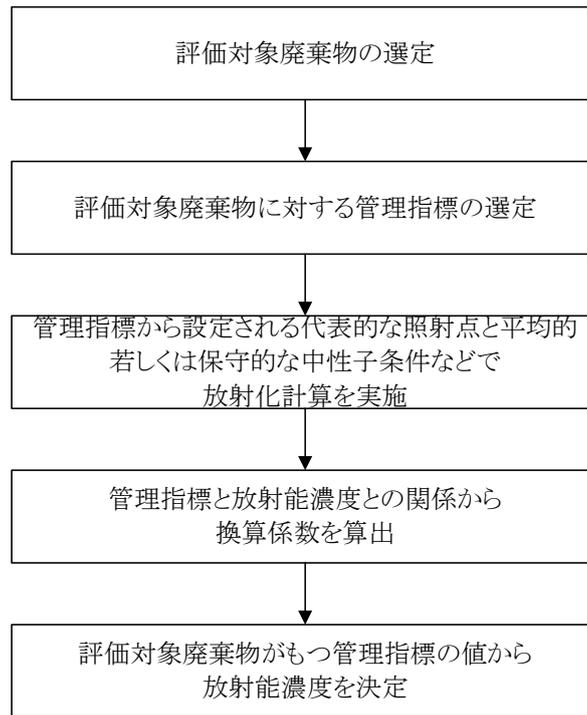
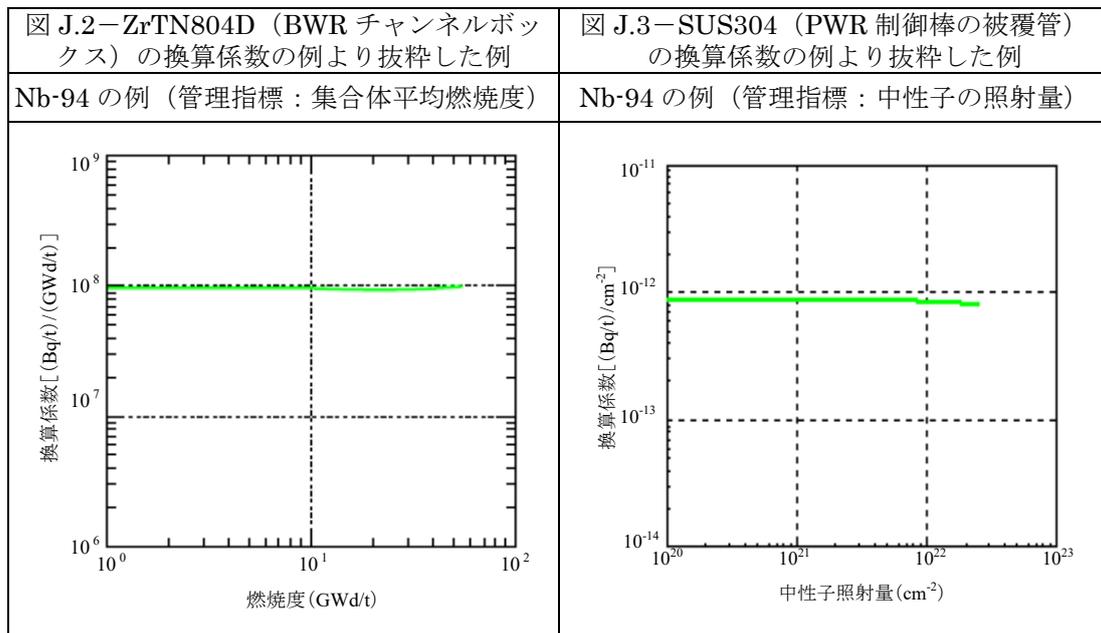


図 J.1－換算係数を用いる場合の評価手順の概略



38. 「J.2.4.3 放射能濃度の決定方法」では、「図 J.4－ZrTN804D (BWR チャンネルボックス) の放射能濃度の評価例 (管理指標：集合体平均燃焼度)」及び「図 J.5－SUS304 (PWR 制御棒の被覆管) の放射能濃度の評価例 (管理指標：中性子の照射量)」を例

示すだけで放射能濃度の決定方法についての記述がありません。決定方法について説明してください。

回答 38

回答 37 を参照ください。

3 9. 「J.2.3.1 放射化計算データの設定」の「表 J.6-BWR チャンネルボックスの評価条件 (45GWd/t)」の表の注記における「g 群」、「熱群」について説明してください。

回答 39

附属書 F の表 J.6 の例では中性子スペクトルが多群エネルギー構造で得られているため、その個々のエネルギー群を「g 群」と記載しています。「熱群」とはそれらのエネルギー群のうち、0.625 eV 以下のものを示しています。

4 0. 「K.1.1 考え方」の「廃棄物グループの元素分析データから元素成分条件の変動範囲が把握できることから、その変動範囲を考慮して複数の元素成分条件を適切に設定できる。」とは具体的にどのようなことか説明してください。

回答 40

評価対象とした廃棄物グループに対して、収集した元素分析データの平均値・標準偏差を求め、これらを基に放射化計算の入力条件に用いる入力用の元素成分データの分布を設定した上で、この分布からランダムサンプリングすることによって、入力用の複数の元素成分条件を設定できることを意味しています。

具体的には、附属書 K の図 K.3 の棒グラフが元素分析データであり、これらの元素分析データから平均値・標準偏差を計算し設定した入力用の元素分布を表したものが同図の曲線になります。この分布からランダムサンプリングによって入力条件として設定した元素成分条件が表 K.12 になります。

このように収集した元素分析データを基に、統計的手法を用いていることによって複数回の計算に使用するための元素成分条件を適切に設定できます。

4 1. 「K.2.1 事前準備」の「表 K.1-評価対象廃棄物の選定」に記載されている黒鉛減速材の「ペシネ 1 級」について、解説「6.3 濃度分布評価法を用いる場合の基本的な考え方及び計算例」にペシネ 3 級との違いが説明されていますが、微量元素及び不純物元素の観点から説明してください。

回答 41

ペシネ 1 級黒鉛とペシネ 3 級黒鉛の違いについては、解説 6.3 のとおり、かさ比重を高

めるための工程（石油ピッチ浸透・仮焼成工程）の回数が異なります。

また、JIS R 7221 :1962（現在廃版）では、ペシネ 1 級黒鉛は原子炉用カーボン 1 級、ペシネ 3 級黒鉛は原子炉用カーボン 2 級になります。

なお、不純物元素に係る項目としては、ホウ素含有量、灰分含有量の上限値についての記載があり、ホウ素含有量はペシネ 1 級が 0.1 ppm 以下、ペシネ 3 級が 0.5 ppm 以下、灰分含有量はペシネ 1 級が 0.002 %以下、ペシネ 3 級が 0.07 %以下となっており、ペシネ 3 級が大きい値となっています。

4 2. 「K.2.2.2 中性子条件」の「b)放射化断面積の設定」において、「黒鉛減速材用黒鉛の評価では、ORIGEN2 を適用する」としてありますが、その適切性を説明してください。

回答 42

ORIGEN2 コードを黒鉛減速材の放射化計算に適用するためには、黒鉛減速材部での中性子スペクトルに基づいた放射化断面積が必要ですが、附属書 F の図 F.9 の計算フロー、表 F.3 の計算条件を用いて、JENDL-3 に基づき黒鉛減速材での中性子スペクトル(図 F.12)を用いて、黒鉛減速材部での放射化断面積を設定しています。このため、黒鉛減速材の放射化計算に ORIGEN2 コードを適用することは、適切な評価と言えます。

さらに、附属書 F の F.3.4 では、ORIGEN2 を用いた放射化計算結果と、同じ評価位置における採取試料の放射化分析結果を比較して、適切性を確認しています。

4 3. 「L.2 点推定法」に「化学組成、中性子フルエンス率及び中性子の照射条件に対する設定値の不確かさを、事前に評価することが望ましく、この不確かさについては、評価された値に関連させて、信頼区間を設定することが望ましい。」とありますが、「評価された値に関連させる」とは、具体的に何をするのか説明してください。

回答 43

点推定法による放射化計算の結果を得るために設定した入力条件である元素成分条件、中性子条件及び照射条件は、保守性を考慮して設定されるため、「評価された値として平均値」の評価を行った場合は、そのばらつきを考慮した信頼区間の評価が重要になります。

一方、点推定法の場合、ほとんどの評価は、最大値の評価に適用されると想定されますがこの「評価された値として最大値」の評価を行った場合は、各入力条件には、基本的に保守性を確保するためのバイアスが加わった状態で評価されているため、信頼区間と言うより、不確かさに占めるバイアス量の評価が重要となります。

平均値の評価： 各入力設定値のばらつきを考慮した信頼区間の評価

最大値の評価： 各入力設定値の保守性を考慮したバイアスの評価

4 4. 「M.3.1 埋設放射能の確認における要求評価精度の考え方」に「全埋設廃棄体の総放射能としては、放射能濃度のばらつきは、最終的に相殺されるため、埋設放射能の確認においては、評価結果である個々の廃棄物の放射能濃度及び平均放射能濃度の妥当性が確認されれば、得られた評価は、そのまま適用できる。」とありますが、評価結果をそのまま適用すると、埋設廃棄体の総数の程度によっては確率的に偏りが生ずることも懸念されます。個々の廃棄体についての裕度の必要性について説明してください。

回答 44

総放射能の評価に適用する考え方で、あくまでも「評価結果である個々の廃棄物の放射能濃度及び平均放射能濃度の妥当性が確認された」上での適用を想定しています。

さらに、適用する対象数量は浅地中処分の実績では、ドラム缶 20 万本相当の埋設処分量が総量ですので、対象とする廃棄体の母数は、相当大きいと言えます。このため、平均放射能濃度を評価する上では、最大放射能濃度の評価のように、さらなる裕度を加える必要性は低いと考えます。

4 5. 「M.3.2 最大放射能濃度を超えないことの確認における評価精度への対応の考え方」の「b)評価精度の提示方法」において、「廃棄物グループを代表する平均的な放射能濃度を決定する方法における廃棄体個々の放射能濃度のばらつきの程度を意味する評価精度は、次のいずれかの方法などによって提示することが可能である。」として、その一つの「1) 推定放射能濃度のばらつきの分布の偏差によって評価精度を提示する。」の例に「区間推定法によって評価した廃棄物グループの濃度分布などのばらつきの標準偏差から、得られる平均値の信頼区間による提示など。」とありますが、平均値の信頼区間により個々の廃棄体の評価精度が提示できることを説明してください。

回答 45

評価対象物の放射能濃度に関して区間推定法による評価を行うことで、個々の廃棄体の放射能濃度のばらつきを加味した信頼区間（上限及び下限）を把握できますので、この信頼性を考慮した放射能濃度の評価値として決定できます。

ただし、最大放射能濃度を超えないことに対する対応としては、これに加え、信頼区間を超えるばらつきに対応するために、浅地中処分対象廃棄体の放射能濃度評価に使用していますスケーリングファクター法に適用しているスクリーニングレベルによる制限を掛けることもあります。

4 6. 「M.3.2 最大放射能濃度を超えないことの確認における評価精度への対応の考え方」の「c)最大放射能濃度を超えないことの確認」において、「表 D.1—各区間推定法の基本的な特徴及び適用対象放射化金属等」に示す換算係数法、濃度比法及び濃度分布評価法について、M.3.2 c)項に基づく裕度の確保方法を説明してください。

回答 46

最大放射能濃度に対する裕度の確保方法に関しては、濃度比法には、濃度比に算術平均を適用することに加え、浅地中処分対象廃棄体の放射能濃度評価に使用していますスクリーニングファクター法に適用しているスクリーニングレベル（濃度比法では Key 核種濃度制限）による制限を設けることによって、信頼区間を超えるばらつきを考慮した最大放射能濃度に対する裕度を確保できます。

一方、濃度分布評価法は、濃度の分布自体を評価しますので、その評価結果の最大値、若しくは 3σ 濃度（約 99.7% をカバーできる濃度）を適用することで、分布全体に対しての裕度を確保します。

4 7. 「N.1 結果の記録内容」

- (1) 内容の詳細は、ISO16966:2013 の Annex E を参照するとしていますが、当該規格の適用範囲とその内容、適用できる根拠について説明してください。
- (2) 記録することが望ましい項目として a~h が示されていますが、理論計算法においては計算条件を記録することが重要と想定される場所、計算条件は a~h のどこに含まれるのか説明してください。

回答 47 (1)

ISO16966:2013 の適用範囲は、第 2 回検討チーム会合の資料 2-1-5 に示しました下記になります。

なお、ISO 標準の内容は、理論計算法に関しては、学会の標準と同じ対象範囲（放射化物に関する放射能濃度の評価）に対する内容となっていますので、その記録（附属書 N の N.1）に関しても、適用できるものです。

1 Scope

This International Standard gives guidelines for a common basic theoretical methodology to evaluate the activity of radionuclides in activated waste generated at nuclear reactors using neutron activation calculations.

The evaluation of any additional activity contributed by deposited contamination is not addressed in this International Standard.

回答 47 (2)

下表に a)~h) の各項目に含まれる計算条件(放射化計算の入力条件は下線で示しました)を示します。

記録すべき内容	理論計算法における計算条件及び結果の記録
a) 理論計算の内容及び範囲	<ul style="list-style-type: none"> ・ 目的 (評価対象範囲: 放射化物、核種) ・ 評価対象の基本条件: 炉型 (燃料条件含む) ・ 制限条件
b) 評価対象とした放射化金属等の説明	<ul style="list-style-type: none"> ・ 評価対象放射化金属等の種類、材質、形状、炉内設置位置、質量 ・ 分析データ、中性子条件、照射条件などの基礎データ
c) 放射線(線量率)測定方法の説明(放射線測定を適用した場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・ - (国内では基本的には想定していない項目)
d) 理論計算方法の説明	<ul style="list-style-type: none"> ・ 適用した理論計算法 (点推定法、区間推定法: 濃度比、換算係数、濃度分布評価) ・ 適用した計算コードに関する説明
e) 理論計算の結果の要約	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>入力用の設定条件 (材料の元素、中性子、照射)</u> ・ 放射化計算の結果 ・ 計算結果を使用した区間推定法の評価係数の結果 (区間推定法の場合) ・ 廃棄体の放射能濃度の決定値
f) 結果の妥当性確認, 及び/又は不確定性の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・ 適用した計算コードの妥当性確認の結果 ・ 評価結果の信頼区間などによるばらつきの評価結果
g) 参考文献 (含むことが望ましい)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 適用する計算コード ・ 構造図 ・ 原子炉運転データ (構造物の照射履歴含む)
h) 評価, 検証などの結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 理論計算のまとめの作成者、確認者、承認者

48. 「N.2 その他」の位置づけについて、この項目は理論計算法の記録内容から除外する項目という理解で良いかどうかを説明してください。

回答 48

記録の基本となりますのは、「N.1 結果の記録内容」ですので、そのご理解で良いかと考えます。

4 9.「解説 6.2.1 元素成分条件の設定」に「(略) 同一の濃度分布 (対数正規分布) を設定する元素の濃度分布データの標準偏差の分布を評価した結果を、解説図 1 に示すが、標準偏差の分布に大きな差異は、見受けられない (収集した元素分析データの標準偏差の最大は、SUS304 中の Co である。これは、試料サンプルに一般材料及び原子力仕様材料の両者を加えたことによって元素濃度分布範囲が大きくなったもので、一般材料を除いた場合の標準偏差の分布の範囲は、ほぼ同等である)。」とありますが、試料サンプルを一般材料及び原子力仕様材料とに区別した濃度分布データの標準偏差の分布を説明してください。

回答 49

原子力仕様材料とは、炉内構造物からの γ 線などに起因する被ばく低減の観点から、 γ 核種である放射性核種 Co-60 を生成する Co などの元素成分の含有量が一般材料より低い材料を採用しているプラントの材料を意味します。

この結果、原子力仕様材料の方が一般材料に比べ、Co の元素濃度の下限範囲が低くなっていることがあります。

5 0.「解説 6.2 濃度比法を用いる場合の基本的な考え方及び計算例」の「6.2.2 SUS304 (PWR 制御棒)」は本文及び附属書のどこに対応するものか説明してください (「解説図 2-PWR 制御棒の最終照射条件の異なる極端な配置位置の組合せ」、「解説表 4-主な放射化計算の条件 (概要)」及び「解説図 3-極端な配置位置の組合せでの各核種の放射能濃度の比較」を含む。)。

回答 50

解説の 6.2.2 SUS304 (PWR 制御棒) は、附属書 I に示しています内容を補足するための計算例 (極端な配置条件であっても、その影響は大きくはない) で、下記の部分が該当します。

I.2.2.2 中性子条件の I.2.2.2.2 SUS304 (PWR 制御棒)

I.2.2.3 中性子照射条件の I.2.2.3.2 SUS304 (PWR 制御棒)

I.2.3.1 放射化計算用データの設定

表 I.19 SUS304 の元素成分条件の放射化計算用データの設定結果の計算 No.4

表 I.20 SUS304 の中性子条件及び中性子照射条件の放射化計算用データの設定結果の計算 No.4

5 1.「解説 6.2.3.2 擬似乱数を使用した放射化計算用データの作成方法」で正規分布、対数正規分布、一様分布及び指数分布のいずれにおいてもデータ数は 40 点としていますが、データ数による分布形状の適切性について説明してください。

回答 51

附属書 I の図 I.12 及び図 I.13、並びに附属書 K の図 K.5 に示しておりますように、データ数が約 30 点程度で統計値である平均値と信頼区間値が漸近し、一定の差にほぼ収束していることから、これ以上のデータを収集しても、統計値の信頼性向上は望めないことから、放射化計算結果から評価される放射能濃度データの分布は統計的に安定している領域に達していると判断して、ほぼ分布が確定されるデータ数として、標準に示した例では、40 点までの計算例で示しています。

なお、データ数量による統計値の推移（安定性）に関しましては、「第 3 回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答」の回答 13(4)を参照ください。

5.2. 「解説 6.2.4 適用例」の「b) 元素成分条件が放射化計算結果に与える影響」の末尾に、「放射化計算で得られた各核種の放射能濃度データのばらつきは、基本的に、元素成分条件のばらつき、Key 核種とした ^{60}Co の減衰などに起因して生じている。」とありますが、これに対応する附属書 I の該当部分について説明してください。

回答 52

「元素成分条件のばらつき、Key 核種とした ^{60}Co の減衰」に関する附属書 I の該当部分は、下記のとおりです。

元素成分条件のばらつき： I.2.2.1.2 元素成分条件の設定及び I.2.3.1 放射化計算用データの設定

Key 核種とした ^{60}Co の減衰： I.2.4.2 適用性の判断

5.3. 「解説 6.2.5 濃度比の決定方法」の「b) 相関係数の安定性による充足数の評価方法」の末尾に、「相関係数が 0.6 以上の相関関係をもつデータ群であれば、40 点程度のデータを集積することで統計量は、十分安定するといえる。」とありますが、相関係数 0.6 以上で妥当とする適切性について説明してください。

回答 53

相関性の判断においては、「附属書 I の I.2.4.2 適用性の判断」に示しましたように、相関係数だけで判断しておらず、「相関関係に関して t 検定を実施して判断を行う」ようにしています。

なお、相関性の判断は t 検定で行いますが、目安として示しました 0.6~0.7 以上で相関性があると評価されている事例（参考資料を参照ください）があります。

I.2.4.2 適用性の判断 (中略)

参考として、式(3)に示す相関関係を検定する統計手法 (t 検定) を適用して難測定核種及び Key 核種の相関関係を確認している。結果は、**図 I.8** 及び **図 I.9** に示したとおりであり、いず

れの難測定核種と Key 核種との間で相関関係が確認され、かつ、相関係数も比較的高い（0.6 から 0.9 程度）。

上記に基づけば、1.2.3.2 の放射化計算結果に対しては、いずれの難測定核種（評価対象核種）についても、Key 核種を ^{60}Co とした濃度比を用いる場合の方法が適用可能である。

$$t_0 = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 r : 相関係数

n : データ数

$t_0 \geq t(n-2, 0.01)$ の場合、無相関が棄却され、相関関係があると判断される。

なお、 $t(n-2, 0.01)$ は、 t 分布表の危険率 1% の t 値である。

参考資料（相関係数関係）

- https://ocw.nagoya-u.jp/files/193/siryou_13.pdf（名古屋大学講義資料）
- 佐藤，統計学のすすめ－決定と計画の科学（講談社）（データ数 10 点程度で相関係数 0.6 程度）
- <https://www.ai.u-hyogo.ac.jp/~arima/lectures/JT-13.pdf>（兵庫大学講義資料）

5 4. 「解説図 9－貯蔵タンクの配管（循環ライン）の表面線量当量率と循環時間との関係」の図の注記において、「図は、タンク内のかくはん（攪拌）のために行った廃液の循環の初期から終期まで、配管の表面線量当量率の最大値と最小値との差異が小さいこと [すなわち、タンク内が均一にかくはん（攪拌）されている状態であること] を示している。」とありますが、横軸の循環時間が 190 分、205 分、225 分の時点で線量当量率が $2.0\text{E-}03\text{mSv/h}$ を超えており、線量当量率は変動しています。各時間における最大値と最小値との差異が小さいこと（図ではプロットが重なって太線のように見える。）でかくはん状態を判断することの適切性について説明してください。

回答 54

この評価事例は、下記の報告書からの引用になります。この報告書の中で、下記のように評価されており、標準ではこの結果を引用したものです。

JNES-EV-2013-9005 “中部電力(株)浜岡原子力発電所で製作される均質・均一固化体の廃棄確認方法について”，（独）原子力安全基盤機構，平成 26 年 2 月

(b) まとめ

再循環試験では、循環ラインの表面線量当量率の一時的な上昇は確認できなかった。タンク内の液体の均一性に関して言及している「発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」（原子力委員会決定昭和 53 年 9 月 29 日、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂）解説では、タンク容量分の試料を循環させることで、代表性が確保された試料の採取が可能であると記載されている。今回採取した試料は、濃縮廃液受入タンク満水時の濃縮廃液の循環時間約 70 分 (150m^3 【タンク容量】 / $130\text{m}^3/\text{h}$ 【循環ポンプ流量】 = 1.15h = 約 70 分) 以上循環したうえで採取したものであり十分に代表性が確保されたものとする。

5 5. 「解説 6.7.4 材料の製造工程の影響の確認」の「b) “鉍物、岩石などからの試料”と材料中との標準偏差の比較」の末尾に、「なお、SUS304 の原材料使用されるスクラップに Mo が含まれている可能性があるように、ほかの元素に対しても同様の事象が生じる可能性も否定はできないが、一般には当該元素が添加されたスクラップと、添加されていないスクラップとを混合して利用した場合、材料中の標準偏差は“鉍物、岩石などからの試料”の標準偏差より大きくなる（元素濃度データのばらつきは大きくなる）と考えられる。このため、有識者検討会の報告書では、検出困難元素の濃度分布評価（元素成分条件の設定）において、“鉍物、岩石などからの試料”の標準偏差を用いることによって、放射能濃度の評価結果が過小評価にはならないと考察されている。」とありますが、材料中の標準偏差が大きくなっても放射能濃度の評価結果が過小評価にはならないとすることの適切性について説明してください。

回答 55

引用した報告書では、解説 6.7.4 に示しますように、スクラップ混合試料の標準偏差と鉍物、岩石などからの試料の標準偏差は、下記の関係があるとしているため、入力条件の設定として、鉍物、岩石などからの試料の標準偏差を適用する方が、より標準偏差を小さく設定して評価を行うことから濃度分布を狭く評価するため、保守的と考えられます。

「スクラップ混合試料の標準偏差の平均 \geq 鉍物、岩石などからの試料の標準偏差の平均」

なお、上記の評価は、「第 3 回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答」の回答 7(1)を参照ください。

解説 6.7.4 材料の製造工程の影響の確認 (中略)

b) “鉍物、岩石などからの試料”と材料中との標準偏差の比較 有識者検討会の報告書では、材料中で検出された微量成分元素の濃度データを利用し（検出困難元素は検出下限値データしか得られないため）、“鉍物、岩石などからの試料”の標準偏差の範囲と材料中の元素の標準偏差との比較を行い、実際に、“鉍物、岩石などからの試料”の元素の標準偏差

が規定されており、「詳細は附属書 E 参照」としている附属書にも AESJ-SC-F022:2011 の記載はないので、何のことか理解できない。「AESJ-SC-F022:2011 に適用方法が示されている」を削除すれば意味は理解できる。それとも、a)は AESJ-SC-F022:2011 に規定する採取方法を適用できるということか。]

(2) 本文において試料採取方法の概要を記載し、末尾に「注記 詳細は、附属書 E 参照。」としています。「附属書 E (参考) 原廃棄物分析法の基本的な適用方法」が優先されると理解しますが見解を示してください。

回答 1 (1)

「AESJ-SC-F022:2011 に適用方法が示されている」は、「原廃棄物分析法」に掛かる修飾語で、代表試料の採取方法は、本標準 附属書 E の E.2 に示しています。

回答 1 (2)

標準本文 6.2.1 が優先され、附属書 E は、その詳細を示すものです。

2. 「6.2.2 原廃棄物分析法による評価方法」の本文では附属書 E を引用せずに「a)廃棄体の放射能濃度として決定する方法」及び「b)廃棄体中の放射性核種の組成比を適用して決定する方法」を記載していますが、「附属書 E (参考) 原廃棄物分析法の基本的な適用方法」の「E.3 原廃棄物分析法による評価方法」において、より詳細な規定がされています。附属書 E の E.3 項の適用可否について説明してください。

回答 2

附属書 E の E.3 は、標準 6.2.2 の詳細を示している内容です。

3. 「6.3.1.2 不確かさの扱い」の注記 1 に記載する「偏り及び保守性の程度」は、本文に記載がありません。本文との関係を説明してください。

回答 3

標準の本文 6.3.1.2 に示しています計算結果の「正確さ」(真値にどれだけ近いかを示すもので、その偏り及び保守性の程度は、放射能濃度の許容限度(廃棄体の受入基準、放射線防護、輸送などの限度)から決まる)などを、注記で示しているもので、この注記において「正確さ」は「偏り」の程度を示しています。

6.3.1.2 不確かさの扱い

理論計算法の結果の代表性を定量化するために、計算の正確さ及び不確かさを評価する。

注記 1 “正確さ”は、理論計算結果が真値にどれだけ近いかを示す。偏り及び保守性の程度は、放射能濃度の許容限度(廃棄体の受入基準、放射線防護、輸送などの限度)から決まる。また、“正確さ”は決定した放射能濃度の偏りを

示し，“代表性”は正確さ及び精度を反映したパラメータで考慮することができる。

4. 「6.3.2.2 不確かさの扱い」

(1) 「例 “不確かさ”は分析値の偏りを示す真度，分析値におけるばらつきを示す精度などから評価する。」としているが、JIS Z 8101-2 では真度を「試験結果又は測定結果の期待値と真の値との一致の程度」と規定しているので、「分析値の偏りを示す真度」は「分析値の偏りの程度を示す真度」の方が適切ではありませんか。

(2) 実証的方法の評価結果における「不確かさの扱い」についての事例を具体的に説明してください。

回答 4 (1)

標準に関するご意見につきましては、ご指摘ありがとうございます。学会での今後の本標準改定時の参考とさせていただきます。

回答 4 (2)

標準では具体例を示していませんが、一般的な分析結果の妥当性を確認するための方法としては、下記の「真度」と「精度」の評価方法を適用して評価することが考えられます。

真度（分析結果の真の値からの偏りの程度）：

検量線上の濃度（測定値）とその濃度（理論値：標本サンプルの濃度）との一致の程度を真度として評価する。

精度（分析結果間の一致の程度）：

均質なサンプルから採取した複数の試料を繰り返し分析して得られる一連の測定値が一致する程度（相対標準偏差など）で評価する。

6.3.2.2 不確かさの扱い

適用する分析方法による結果の正確さを定量化するために、分析結果の不確かさを評価する。

例 “不確かさ”は、分析値の偏りを示す真度，分析値におけるばらつきを示す精度などから評価する。

5. 「E.2.1 基本的な考え方」の原廃棄物分析法の試料採取において、b)の「廃棄物の均一性が確認できない場合」に該当する貯蔵容器について、具体的な事例で説明してください。

回答 5

附属書 E の E.2.2.2 に示しています「廃棄物の均一混合性が確認できない場合」とは、貯蔵タンクにおいて、貯蔵している廃棄物（使用済樹脂など）に対して混合処理が行えない場合で、表 E.1（下表）に示しているいずれの処理方法も適用できない場合を示しています。

表 E.1－貯蔵タンク内の均一混合処理方法の例

	均一混合の処理方法	均一混合の判断条件
1	かくはん（攪拌）機による混合処理	時間（かくはん（攪拌））
2	循環ラインによる混合処理	時間（循環）
3	エアレーションによる混合処理	時間（混合）
注記	混合機器による均一性及び均一混合の判断条件は、機器の性能、試験・評価によって確認する必要がある。	

6. 「E.2.3 使用済樹脂等を想定した代表試料の採取方法の例」の「表 E.4－JIS K 2251:2003 に記載された試料採取方法の主な特徴」は、使用済樹脂等の原廃棄物分析法への適用を想定して作成されたものですが、同表において、「貯蔵タンク内の試料採取方法」の「試料調整方法（二次試料）」は「平均試料 など」と記載されています。この「など」について説明してください。

回答 6

附属書 E の表 E.4 に示しております「平均試料 など」とは、JIS K 2251 に示されています 2 次試料として定義されている試料として、他にも「単タンク混合試料」（同一タンク内の各部の試料を混合した試料）がありますので、これを「など」としたものです。

なお、標準では「平均試料」の適用を主として示しています。

表 E.4－JIS K 2251:2003 に記載された試料採取方法の主な特徴

	貯蔵タンク内の試料採取方法	タンク循環ラインの試料採取方法	排出・抜出しラインの試料採取方法
概要	採取器を利用して使用済樹脂等の貯蔵タンクから試料を採取	貯蔵タンクの循環ラインから試料を採取	排出又は抜出しラインから試料を採取
試料採取場所（使用済樹脂等の場合）	貯蔵タンク	タンク循環ラインのサンプリングライン	排出・抜出しラインのサンプリングライン
適用の前提条件（試料性状）	－液体	－液体及び半流動体 －試料採取前のタンク内かくはん（攪拌）又は一定の循環	－液体及び半流動体 －サンプリングライン及び排出・抜出しラインの試料流速が同等
試料採取方法（一次試料）	定点（位置） 試料採取方法	一点	定点（時間） 試料採取方法

	(上部, 中部, 下部)		(初期, 中期, 後期)
試料調整方法 (二次試料)	平均試料 など	—	混合試料

7. 「E.3 原廃棄物分析法による評価方法」の「a) 廃棄体の放射能濃度として決定する方法」の 2)の方法は、複数の一次試料の平均値と廃棄物投入量で放射能濃度を決定していますが、二次試料の結果を用いない理由を説明してください。

回答 7

廃棄体の放射能濃度として決定する方法として、附属書 E の E.3 a) 2)に示しました放射能濃度の平均値 (ばらつきを含めた平均値の評価を行いたい) を適用したい場合に、二次試料を使用しますと、その時点ですでに平均化されてしまっているデータ (1 点) となってしまっていますので、個別の試料の放射能濃度の分析結果が使用できる一次試料の分析データを使用して評価することを示しています。

E.3 原廃棄物分析法による評価方法

E.2 に示した方法で採取した代表試料の放射化学分析等を実施し、次の方法で、廃棄体中の核種別の放射能濃度を決定する。

なお、固型化廃棄物に対して、加熱処理などの核種の放射能濃度に影響を与える可能性のある廃棄物処理を適用する場合は、処理方法による影響の適切な補正が必要となる。

a) **廃棄体の放射能濃度として決定する方法** 放射化学分析等によって得られた原廃棄物中の評価対象核種の放射能濃度と、固型化方法とを踏まえた配合条件 (例 廃棄物重量/固化体重量の比率など) を利用し、次のいずれかの方法で、廃棄体中の核種別の放射能濃度を決定する。

- 1) 代表試料の放射化学分析等で得られた核種別の放射能濃度、及び廃棄体への廃棄物投入量によって、廃棄体ごとの放射能濃度を決定する方法。
- 2) 複数の一次試料の放射化学分析等で得られた核種別の放射能濃度の平均値、及び廃棄体への廃棄物投入量によって、廃棄体ごとの放射能濃度を決定する方法。

8. 「E.4 原廃棄物分析方法の適用のステップ」に「原廃棄物分析法の基本的な適用のステップは、図 E.2 及び次による。」と規定していますが、本来は本文が正で図は参考で不足のところ、本文と図 E.2 との関係を説明してください。

回答 8

ご指摘のように、附属書の本文が主で、附属書 E の図 E.2 (次図参照) は従の関係です。図 E.2 の基本的な内容は、標準の 6.2.1 を示しているものです。

6.2 実証的方法の手順

6.2.1 原廃棄物分析法の試料採取方法

a) AESJ-SC-F022:2011 に適用方法が示されている原廃棄物分析法の代表試料の採取方

法を示す。

b) 原廃棄物分析法は、固型化処理前の評価対象とする廃棄物から試料を採取し、試料の放射化学分析等の分析結果によって廃棄体の放射能濃度を決定するため、適用する廃棄体の放射能濃度に関して、次のいずれかの方法で代表試料を採取する。

- 1) **廃棄物の均一性が確認できる場合** あらかじめ、タンク内で廃棄物が均一混合できると見なすことが可能な場合は、均一混合後に採取する。
- 2) **廃棄物の均一性が確認できない場合** あらかじめ、タンク内で廃棄物が均一混合できると見なすことが不可能な場合は、タンクから適切な複数の試料を採取する。

注記 詳細は、**附属書 E** 参照。

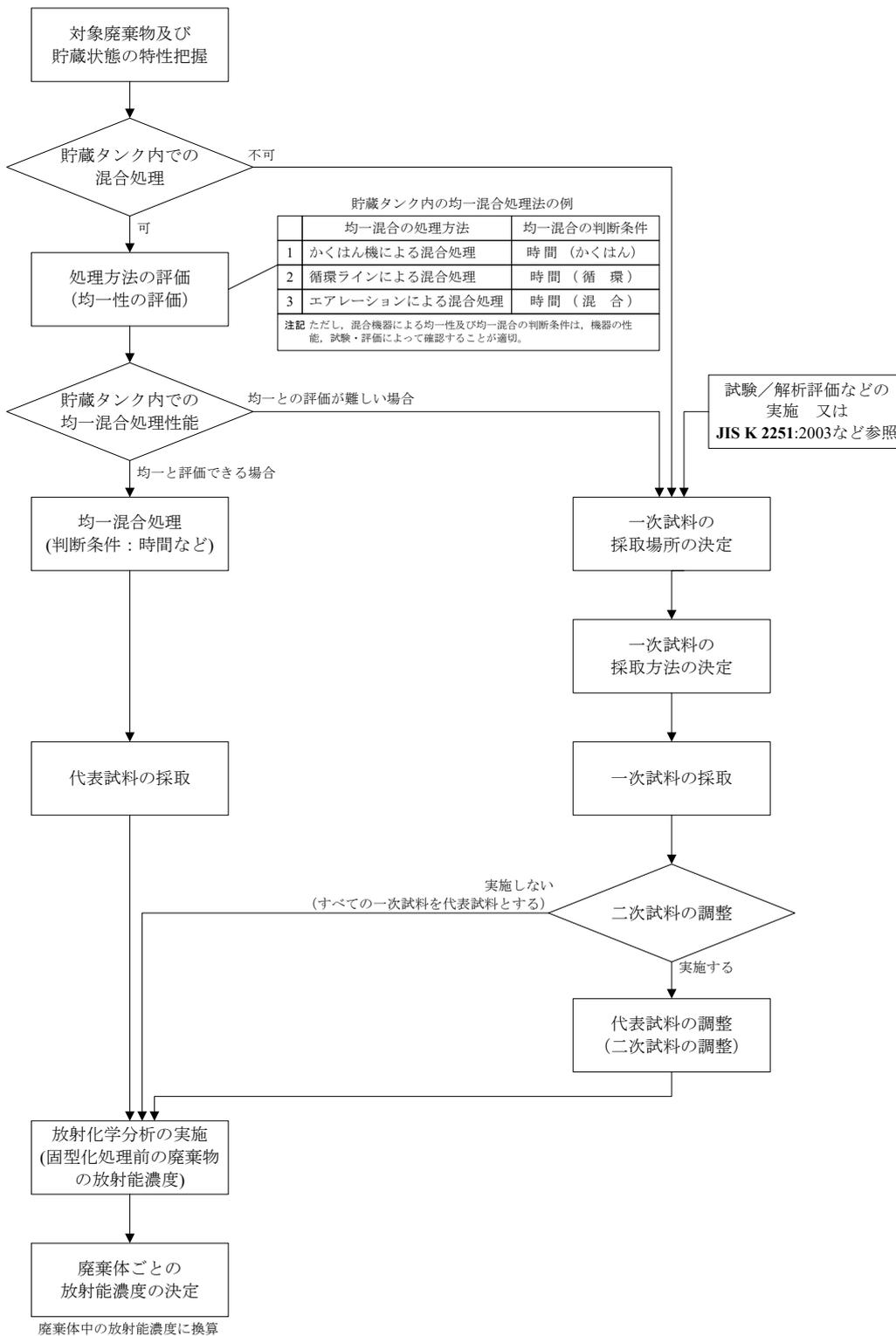


図 E.2—原廃棄物分析法の基本的な適用フロー