

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
<p>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（以下「放射能濃度決定標準」という。）は、本文と附属書から構成されています。附属書には「(参考)」とありますが、「(参考)」とは何か説明してください。また、「解説」との違いについても説明してください。</p>	<p>標準中の附属書及び解説の位置付けについては、日本原子力学会発行の、「標準作成ガイドライン」（2020年度版が最新）に記載されています。</p> <p>すなわち、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たものを附属書としています。附属書には、附属書（規定）及び附属書（参考）の2種類あります。また、標準の一部ではありませんが、本体、附属書に記載した事柄及びこれらに関連した事柄について説明するものを解説としています。</p> <p>本標準の附属書（参考）は、標準委員会における審議において技術的妥当性及び実機適用性が確認されており、将来、実機適用実績が増えた時点で附属書（規定）とする予定です。</p> <p>以下、「標準作成ガイドライン：2020」より抜粋。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・附属書 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。 ・附属書（規定） 本体から、規定の一部を取り出してまとめる場合には附属書（規定）とする。 注記 附属書（規定）は規定であるが、附属書（参考）及び解説は、規定ではない。標準は、本体及び附属書（規定）だけで誤りなく履行できるようにする。 ・附属書（参考） 標準の理解又は利用を助けるための参考となる情報をまとめる場合には附属書（参考）とする。附属書（参考）にするのが望ましい例は、次のようなものである。 例 1 将来的には規定とするのが望ましい事項であるが、根拠となる裏付けデータ及び実績から判断して、規定とするには時期尚早のものを、考え方や事例としてまとめたもの。 例 2 規定の運用に関して特に重要な事項に関するもの。例えば、利用者がこの規定を適用できるか否かの判断、結果の評価についての判断をするときに、理解を助けるもの。 例 3 利用者が規定を正しく理解し、運用するために参考となる適用事例。頁数が多くなる場合は別の技術レポートとして発行する。 例 4 一つのテーマについて見解・主張・思想をパッケージとしてまとめたもの。頁数が多くなる場合は別の技術レポートとして発行する ・解説 標準の一部ではないが、本体、附属書に記載した事柄及びこれらに関連した事柄について説明するもの。 記載内容の例：「制定、改定の趣旨」、「制定、改定の経緯」、「審議中に特に問題となった事項」、「適用範囲について」、「本体、附属書の解説（特に理解が難しいものに関する補足、国内法規・外国規格との比較など）」、「懸案事項」 	<p>「(参考)」と規定との関係について質問したものです。</p>	<p>－ （日本原子力学会の標準では、「附属書（参考）」は、「標準の理解又は利用を助けるための参考となる情報をまとめ」たものとのことですが、「標準委員会における審議において技術的妥当性及び実機適用性が確認されており、将来、実機適用実績が増えた時点で附属書（規定）とする予定」と説明があり、位置づけがわかったので追加の質問はありません。）</p>		
<p>2. 放射能濃度決定標準の序文において、「原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物のうち、中深度処分対象廃棄</p>	<p>標準の作成に当たっては、原子力発電所の炉型として、次の原子炉を対象としています。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 沸騰水型軽水炉（BWR） ・ 加圧水型軽水炉（PWR） ・ ガス冷却炉（GCR） 	<p>「原子力発電所」は法令用語ではないため、対象を明確にするため</p>	<p>－ （炉型が明確に示されませんでしたので、追加の質問はありません。）</p>		

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
物の放射能濃度を決定する方法を示すことを目的としている。」との記載がありますが、原子力発電所のうち、本標準が対象とする炉型を説明してください。		に質問したものです。			
<p>3. 第二種廃棄物埋設事業規則は、以下の確認・評価を求めています。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第二種廃棄物埋設を行う放射性廃棄物に含まれる放射性物質の種類ごとの最大放射能濃度、総放射能量及び区画別放射能量※の確認 ・廃棄体の放射能濃度が第二種廃棄物埋設に係る許可を受けたところによる最大放射能濃度を超えないこと※の確認 ・政令※第31条で定める放射性物質※（以下「政令記載核種」という。）の放射能濃度の確認 ・廃棄物埋設施設からの直接ガンマ線及びスカイラインガンマ線の評価※ ・廃止措置の開始までに廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しがあるものであることの評価※ <p>L1 放射能評価標準に規定されている評価方法の概要及び理論的方法の技術的ポイント（以下「説明資料」という。）のP5では、適用する評価対象として、「廃棄体の放射能濃度」及び「埋設施設の総</p>	<p>標準の目的は、解説「3適用範囲」に示すとおり、「中深度処分対象である放射化金属等及び使用済樹脂等について、“核燃料物質又は核燃料物質によっ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”第八条第2項第二号^{注1)}に定める廃棄体の放射能濃度に係る技術基準を満足していることを確認するとともに、同規則第六条第1項第一号に定める事業所に埋設された放射性物質の放射能の総量を超えていないことを確認するための標準的な放射能濃度決定方法を規定することを目的に作成されたものである。」としており、上に示した技術基準を確認するための方法を規定しています。</p> <p>注1：標準改定後、2019年12月5日に規則改正が行われ第八条第2項第三号に改正された。</p>	放射能濃度決定標準の引用先を確認するために質問したものです。	— （廃棄体の放射能濃度と埋設物の総放射能量を算出するためのものであると回答いただきましたので、追加の質問はありません。）		

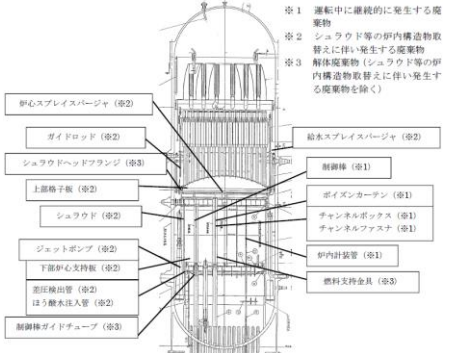
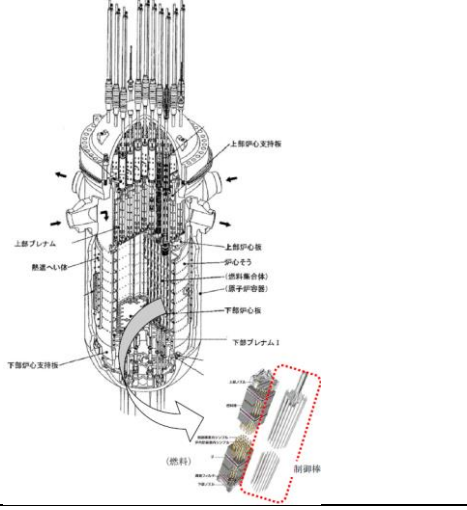
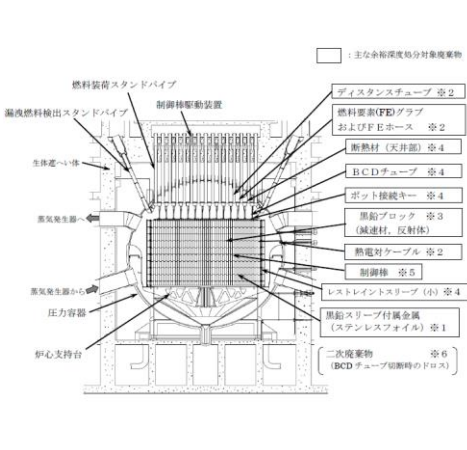
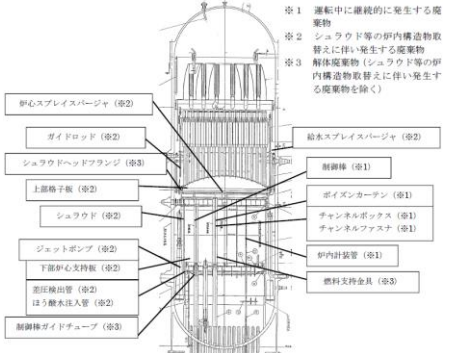
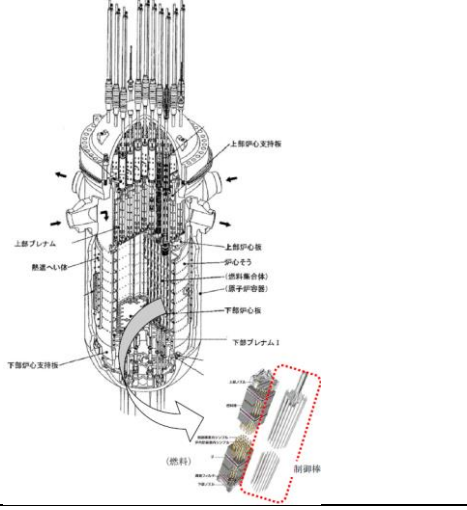
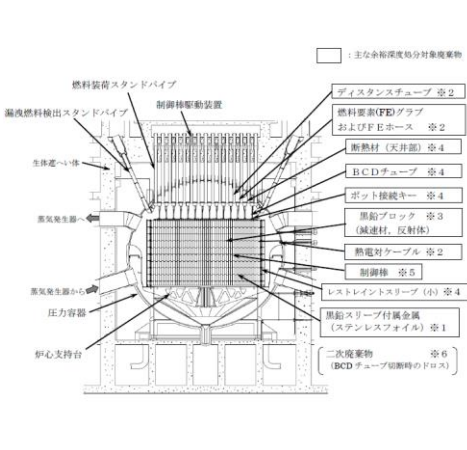
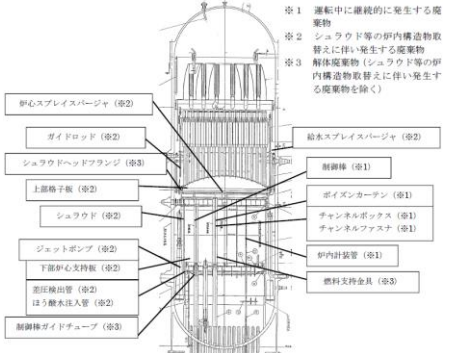
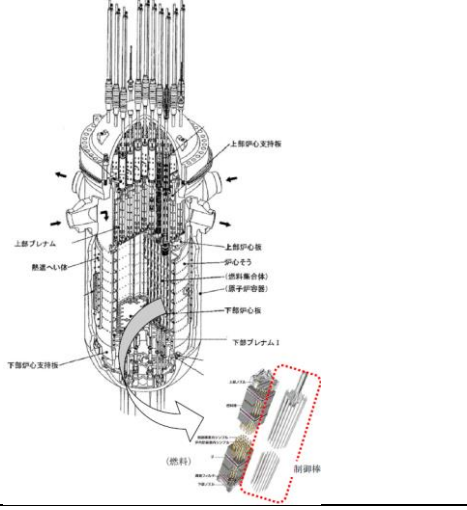
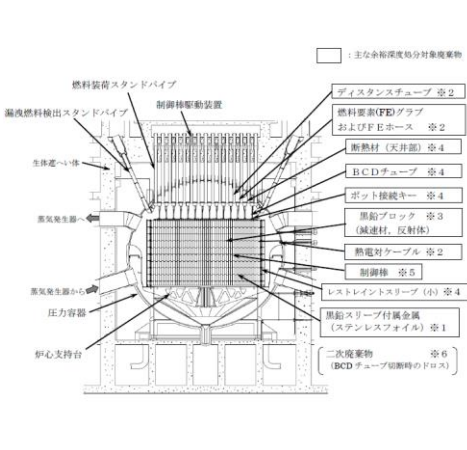
中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム
第2回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
埋設放射能」とありますが、上記確認・評価のうち、放射能濃度決定標準が適用できるものはどれか説明してください。					
<p>4. 中深度処分について、埋設しようとする放射性廃棄物に含まれる放射性物質が、第二種廃棄物埋設事業規則別表第一に規定されているピット処分に係る放射性物質の放射能濃度を超え、政令記載核種の放射能濃度を超えないものとされています。一方で、放射能濃度決定標準では、中深度処分対象廃棄物であることを前提にその放射能濃度の決定方法を規定しています。</p> <p>（1）「3 用語及び定義」に記載されている、「3.5 使用済樹脂等」及び「3.14 放射化金属等」の中には放射能濃度によってピット処分対象物と中深度処分対象物に分かれる可能性があります。対象物の全体の放射能濃度の評価結果から、中深度処分対象物をどのように選定するのか説明してください。この際、政令濃度上限値を超えるもの及びピット処分対象との境界をどのように考慮しているのか説明してください。</p>	<p>＜標準が想定している中深度処分対象廃棄物の考え方＞ 放射化金属等の中には放射能濃度によって「ピット処分対象物」と「中深度処分対象物」に分かれますが、標準の策定にあたっては、廃棄物の全体の放射能濃度評価結果を基に、中深度処分対象物を選定したものではありません。 旧原子力安全委員会が示した中深度処分対象廃棄物（使用済制御棒、チャンネルボックス、炉内構造物など）¹⁾を主な対象に、標準を整備したものです。</p> <p>注1) 出典：低レベル放射性廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第3次中間報告）平成12年9月14日</p> <p>＜事業者が想定している区分の考え方＞ 対象物の放射能濃度の評価結果と浅地中ピット処分場の廃棄体受入れ条件（最大放射能濃度、総放射能量など）を比較し、浅地中ピット処分場の受入れ条件を超え、かつ、中深度処分場の廃棄体受入れ条件（最大放射能濃度など）を超えない廃棄物を中深度処分対象として選定すると聞いています。</p>	<p>中性子条件が連続的に変化する大型の機器では、放射能濃度評価値が、ピット処分の濃度範囲～中深度処分の濃度範囲にまたがるような状況も想定されます。また、その評価値は、中性子条件の不確かさや微量元素成分の不確かさがあります。これらの状況を踏まえて、中深度処分対象廃棄物をどのように選定しているのかを明確にするために質問したものです。</p>	<p>－ （中深度処分対象廃棄物は放射能濃度評価値に基づいて分類するのではなく、廃棄物の種類に応じて分類するとの回答でしたので、追加質問はありません。）</p>		
<p>（2）また、「使用済樹脂等」の説明のうち、「その他の粉状若しくは粒状の放射性廃棄物」の内訳及び、「放射化金属等」の例示のうち、「黒鉛など」の内訳を説明してください。</p>	<p>「使用済樹脂等」の定義である「液体状の放射性廃棄物又はイオン交換樹脂、フィルタスラッジその他の粉状若しくは粒状の放射性廃棄物」の表現は、第二種埋設事業規則の第八条第2項第一号の表現を踏襲したのですが、現時点では、「その他の粉状若しくは粒状の放射性廃棄物」に該当する廃棄物は想定しておりません。</p> <p>「放射化金属等」の定義に示しております「例」（代表的な放射化金属を示しています）にある放射化金属に関しましては、現時点では、原子炉内やその周辺</p>	<p>対象とする廃棄物を明確にするために質問したものです。</p>	<p>－ （具体的な対象物を、例によって示していただきましたので、追加の質問はありません。）</p>		

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
 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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
 (一社) 日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容												
	<p>で中性子照射によって放射化された機器等を想定しており、具体的には以下のとおりです。</p> <table border="1" data-bbox="460 401 1368 1690"> <thead> <tr> <th>炉型</th> <th>対象物</th> <th>対象物の発生部位^{注)}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BWR</td> <td>上部格子板、燃料支持金具、シュラウド、炉心支持板、炉心スプレースペース、CRD ガイドチューブ、シュラウドヘッドフランジ、ジェットポンプ、制御棒、チャンネルボックス、炉内計装管</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PWR</td> <td>バップル、バップルフォーマ板、炉心槽、上部炉心板、制御棒クラスタ案内管、熱遮へい体、下部炉心板、下部プレナム、下部炉心支持板、コンクリート、制御棒、バーナブルポイズン、プラッキングデバイス</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GCR</td> <td>炉内挿入物（黒鉛スリーブ付属金属、制御棒、ディスタンスチューブ³⁾、燃料要素（FE）グラブ³⁾及びFE ホース³⁾、熱電対ケーブル³⁾、炉内構造物（断熱材（天井部）、BCD チューブ、ポット接続キー、レストレイントスリーブ（小）、BCD チューブ切断ドロース、黒鉛ブロック</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>注1) 事業者が提示した「余裕深度処分対象廃棄物に関する基本データ集（一部改訂）」（平成 28 年 8 月 23 日）より抜粋 注2) 上表に示した対象物以外に、浅地中ピット処分の最大濃度を下回ると推定されるが、中深度処分の可能性がある対象物として、压力容器などがある。</p>	炉型	対象物	対象物の発生部位 ^{注)}	BWR	上部格子板、燃料支持金具、シュラウド、炉心支持板、炉心スプレースペース、CRD ガイドチューブ、シュラウドヘッドフランジ、ジェットポンプ、制御棒、チャンネルボックス、炉内計装管		PWR	バップル、バップルフォーマ板、炉心槽、上部炉心板、制御棒クラスタ案内管、熱遮へい体、下部炉心板、下部プレナム、下部炉心支持板、コンクリート、制御棒、バーナブルポイズン、プラッキングデバイス		GCR	炉内挿入物（黒鉛スリーブ付属金属、制御棒、ディスタンスチューブ ³⁾ 、燃料要素（FE）グラブ ³⁾ 及びFE ホース ³⁾ 、熱電対ケーブル ³⁾ 、炉内構造物（断熱材（天井部）、BCD チューブ、ポット接続キー、レストレイントスリーブ（小）、BCD チューブ切断ドロース、黒鉛ブロック					
炉型	対象物	対象物の発生部位 ^{注)}															
BWR	上部格子板、燃料支持金具、シュラウド、炉心支持板、炉心スプレースペース、CRD ガイドチューブ、シュラウドヘッドフランジ、ジェットポンプ、制御棒、チャンネルボックス、炉内計装管																
PWR	バップル、バップルフォーマ板、炉心槽、上部炉心板、制御棒クラスタ案内管、熱遮へい体、下部炉心板、下部プレナム、下部炉心支持板、コンクリート、制御棒、バーナブルポイズン、プラッキングデバイス																
GCR	炉内挿入物（黒鉛スリーブ付属金属、制御棒、ディスタンスチューブ ³⁾ 、燃料要素（FE）グラブ ³⁾ 及びFE ホース ³⁾ 、熱電対ケーブル ³⁾ 、炉内構造物（断熱材（天井部）、BCD チューブ、ポット接続キー、レストレイントスリーブ（小）、BCD チューブ切断ドロース、黒鉛ブロック																

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
<p>（3）解体作業においては炉内構造物のほとんどが切断されて廃棄物容器に収納されると想定されます。大型の対象物（例えばシュラウド）は、放射能濃度に分布があると想定されますが、大型の対象物の放射能濃度の計算結果から、個々の切断片の放射能濃度をどのように計算するのか説明してください。</p>	<p>注3) 原子炉から取り出して、「バンカ廃棄物」として、「バンカ」内に保管している廃棄物もある。</p> <p>大型の対象物については、炉内での物理的配置によって、中性子フルエンス率及びスペクトルに分布が生じるため、廃棄物中に放射化による放射能濃度の分布が生じます。したがって、個々の切断片の放射能濃度は異なります。</p> <p>しかしながら、廃棄物確認などの際に実施する放射能濃度評価は、切断片ごとの放射能濃度を考慮するのではなく、評価対象機器の部位（必ずしも切断区分と一緒にではない）ごとに放射能濃度を評価し、評価対象機器全体としての放射能濃度を把握します。</p> <p>この結果を使用して、当該評価対象物（例 シュラウドの切断片、大型機器の切断片）を収納した廃棄体としての放射能濃度を評価します。具体的には、次のような基本的考え方で評価します。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該対象物の最大値を示す代表位置の放射能濃度を、切断した放射化金属等を収納した廃棄体の放射能濃度として保守的に決定します。 ・代表位置での評価を行わない場合、区間推定法の濃度分布評価法、濃度比法などを適用して、中性子フルエンス率及びスペクトルの分布を考慮した放射化計算によって、対象廃棄物の放射能濃度分布、Key 核種の濃度に対する濃度比を評価して、これを用いて放射化金属等を収納した個々の廃棄体の Key 核種の放射能濃度を非破壊外部測定した結果に乗じることで、平均濃度、最大濃度などを決定します。 <p>これらの詳細については、事業者が行う廃棄確認段階で実際に適用した条件が示されることとなります。</p>	<p>大型の対象物（例えばシュラウド）は廃棄物容器に収納可能な大きさに細断され、複数の廃棄物容器に分割収納すると推定されますが、一つの廃棄物容器に複数の切断片を収納することも考えられます。その場合は個々の切断片の放射能濃度の大小を考慮した組合せにより個々の廃棄体の推定最大放射能濃度を平準化することが可能です。そのためには、個々の切断片の放射能濃度が必要ですが、そのような記述が見当たらないので質問したものです。</p>	<p>－ （廃棄体にした後の評価方法については、今回の技術評価の対象外とすることとしたので、追加の質問はありません。）</p>		
<p>5. 「4 評価対象とする廃棄物及び評価対象核種」には「b) 評価対象核種は、申請核種とする。」と規定されていますが、具体的な決定方法は規定されていないので、申請核種の決定方法を説明してください。具体的には、放射能濃度決定標準と旧原子力安全・保安院の内規※ の以下の記載との関係を踏まえて説明して下さい。</p> <p>③ ②で選定された各被ばく経路につい</p>	<p>申請核種については、旧保安院の内規等を参考に、事業者が選定することになると想定されます。</p> <p>標準では、どのような申請核種が選ばれたとしても、放射能評価上の申請核種に対応する起源元素の選定は、標準に示している方法で対応できるものとなっております。</p> <p>なお、標準の附属書 G では、放射化計算の例を示す上で、法令で規制される核種、浅地中埋設の事業申請で申請核種となった次の核種を評価対象核種として設定して、起源元素を評価選定し理論的方法の計算例を示すと共に、計算結果の評価を行っています。</p> <p>C-14, Cl -36, Co -60, Ni -63, Sr-90, Nb -94, Tc -99, I -129, Cs -137, 全α¹⁾</p> <p>注 1) α線を放出する全ての放射性物質</p> <p>また、標準 AESJ-SC-F012:2008 余裕深度処分の安全評価手法：2008 において、中深度処分の基本シナリオの被ばく経路ごとの決定核種（支配的な核種又は重</p>	<p>－</p>	<p>－ （「附属書 G(参考) 放射化計算の入力条件の設定例」の質問の中で追加質問します。）</p>		

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社) 日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
<p>て、管理期間中及び管理期間終了以後の公衆の年間被ばく線量を評価する。その結果、選定された被ばく経路ごとに、当該放射性廃棄物中に含まれる全ての放射性物質の種類の中から、最大の線量値を持つ放射性物質の線量の最大値と比較して、当該放射性物質の線量の最大値が1パーセント以上である放射性物質を、影響をもたらすことが予想される放射性物質として選定する。このとき、放射性物質の線量値は、管理期間中及び管理期間終了以後にわたる当該放射性物質の線量値の最大値を用いて比較すること。</p>	<p>要な核種)の例として提示されている核種には、上記以外に Ni-59 及び Cs-135 があります。</p>				
<p>6. 「5.1 放射能濃度決定方法の適用」には、「放射能濃度決定方法は、次のとおり、表1に示す方法の中から評価対象とする廃棄物の性状及び評価対象核種に最も適した方法を選定する」とあります。ここで、「表1-放射能濃度決定方法の種類及び内容」に示された方法は、ピット処分対象廃棄体の放射能濃度決定方法として旧原子力安全委員会が示した手法※ですが、当該手法は二次的汚染物が主体です。放射化物が主体である中深度処分対象廃棄物に、当該手法が適用できる根拠を説明してください。また、「評価対</p>	<p>旧原子力安全委員会が了承した手順¹⁾は、浅地中処分を対象とした二次的汚染物が対象の放射能評価方法ですが、評価対象としている核種の生成過程は、原子炉内での中性子の照射による構造材などの放射化、核分裂生成、中性子多重捕獲です。このため、放射化物の内部に放射化によって生成した核種がそのまま残る放射化物か、放射化された機器の腐食生成物などの移行によって廃棄物表面に付く二次的汚染かの差異であり、放射性物質の生成過程は同じであることから、放射化金属等を対象とします中深度処分対象廃棄物にも適用できる方法と考えます。</p> <p>注1) 出典：廃棄体中の放射能濃度の決定手順について 科学技術庁原子力安全局 平成3年12月</p> <p>この放射能評価方法の中で、スケーリングファクタ法、非破壊検査外部測定法、平均放射能濃度法、廃棄体破壊分析法は、既に手法が確立している方法であり、この方法を主な対象とします浅地中処分対象の放射能評価方法を規定する標準²⁾に示しております。</p> <p>注記 AESJ-SC-F022 ピット処分及びトレンチ処分対象廃棄物の放射能濃度決定に関する基本手順:2019</p> <p>標準が対象としている廃棄物に対しては、比較的放射能濃度が高く、サンプリングや分析の際の被ばく低減の観点から、旧原子力安全委員会が示した6つの</p>	<p>—</p>	<p>— （「放射性物質の生成過程は同じである」ことを根拠としていると理解しました。追加の質問はありません。）</p>		

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社) 日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容									
<p>象とする廃棄物の性状及び評価対象核種に最も適した方法」の選定において考慮すべき具体的内容及び、最も適した方法であると判断する上での判断基準を説明してください。</p>	<p>手法の中から「理論計算法」と「原廃棄物分析法」とを標準で規定することにしました。</p> <p>標準が対象とする「理論計算法」及び「原廃棄物分析法」に対する「評価対象とする廃棄物の性状及び評価対象核種に最も適した方法」の選択は、対象物の下表に示す考慮内容、判断内容によって行います。</p> <table border="1" data-bbox="477 541 1377 1031"> <thead> <tr> <th>適用方法</th> <th>考慮すべき具体的内容</th> <th>最も適した方法であるとの判断</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>理論計算法</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 評価対象の放射性核種の特徴（放射化/汚染といった）。 評価対象とする放射性廃棄物の特徴。 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 評価対象の放射性核種は、炉内での中性子照射によって生成する核種であること。 評価対象とする放射性廃棄物の原子炉内設置位置、形状、材質、中性子照射履歴が把握できること。 </td> </tr> <tr> <td>原廃棄物分析法</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 評価対象の放射性核種の特徴（放射化/汚染といった）。 評価対象とする放射性廃棄物の保管状態、特徴。 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 評価対象の放射性核種は、系統水からの汚染によって評価対象廃棄物に付着、又は吸着されていること。 液体状又は粉・粒状の廃棄物で、代表サンプルの採取が可能なこと。 評価対象廃棄物が、未固化で貯槽などに保管管理されていること。 </td> </tr> </tbody> </table>	適用方法	考慮すべき具体的内容	最も適した方法であるとの判断	理論計算法	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象の放射性核種の特徴（放射化/汚染といった）。 評価対象とする放射性廃棄物の特徴。 	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象の放射性核種は、炉内での中性子照射によって生成する核種であること。 評価対象とする放射性廃棄物の原子炉内設置位置、形状、材質、中性子照射履歴が把握できること。 	原廃棄物分析法	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象の放射性核種の特徴（放射化/汚染といった）。 評価対象とする放射性廃棄物の保管状態、特徴。 	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象の放射性核種は、系統水からの汚染によって評価対象廃棄物に付着、又は吸着されていること。 液体状又は粉・粒状の廃棄物で、代表サンプルの採取が可能なこと。 評価対象廃棄物が、未固化で貯槽などに保管管理されていること。 				
適用方法	考慮すべき具体的内容	最も適した方法であるとの判断												
理論計算法	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象の放射性核種の特徴（放射化/汚染といった）。 評価対象とする放射性廃棄物の特徴。 	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象の放射性核種は、炉内での中性子照射によって生成する核種であること。 評価対象とする放射性廃棄物の原子炉内設置位置、形状、材質、中性子照射履歴が把握できること。 												
原廃棄物分析法	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象の放射性核種の特徴（放射化/汚染といった）。 評価対象とする放射性廃棄物の保管状態、特徴。 	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象の放射性核種は、系統水からの汚染によって評価対象廃棄物に付着、又は吸着されていること。 液体状又は粉・粒状の廃棄物で、代表サンプルの採取が可能なこと。 評価対象廃棄物が、未固化で貯槽などに保管管理されていること。 												
<p>7. 「5.2.1 理論計算法の種類」には、「点推定法」と「区間推定法」が規定されています。</p> <p>（1）「点推定法」と「区間推定法」の使い分けについて、「附属書A（参考）理論計算法の適用方法及び手順」の「A.1.3 STEP2: 評価方法の選択」に「例えば、評価対象とする放射化金属等の詳細情報が特定されない場合、区間推定法の選択が適切である」とありますが、より具体的に、それぞれの手法を選択する場合の判断基準を説明してください。</p>	<p>標準が示します「点推定法」と「区間推定法」、いずれの評価方法も全ての放射化金属等への適用が可能です。その評価方法の特徴から、「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、下表のように方法ごとに適用する評価対象候補を選定します。</p> <p>全ての放射化金属等の放射能の評価を点推定法で行うことも可能ですが、複数の条件の設定に際し、評価対象を適切に網羅し、かつ、恣意的な設定にならないように設定することは、難しいと考えられます。</p> <p>このため、大型の機器、同じような条件で大量に発生する機材は、評価対象範囲全体を恣意的にならず、網羅できるランダムサンプリングによって、複数の入力条件を設定できる「区間推定法」の適用が望ましいと考えております。</p> <p>なお、放射化金属等の詳細情報が特定されない場合、すなわち、切断した廃棄物のように、廃棄体に収納した個々の切断片の詳細情報を把握することが難しい場合には、切断前の機器の状態での評価を行うことが出来る区間推定法の適用が望ましいと考えます。</p> <table border="1" data-bbox="477 1549 1377 1854"> <thead> <tr> <th></th> <th>点推定法</th> <th>区間推定法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>評価方法の概要</td> <td> <p>選定した評価対象廃棄物の特定位置の特定照射条件での放射化計算によって放射能濃度を決定する。</p> <p>このため、代表位置（例 最大値を示す位置）が選定できない放射化金属等の場合、多数の放射化計算（特定位置の</p> </td> <td> <p>評価対象廃棄物の条件範囲を網羅した放射化計算によって放射能濃度を決定する。</p> <p>このため、同種の放射化金属が多数発生し、かつ、条件範囲が明確な放射化金属等に向く^{注1}。</p> </td> </tr> </tbody> </table>		点推定法	区間推定法	評価方法の概要	<p>選定した評価対象廃棄物の特定位置の特定照射条件での放射化計算によって放射能濃度を決定する。</p> <p>このため、代表位置（例 最大値を示す位置）が選定できない放射化金属等の場合、多数の放射化計算（特定位置の</p>	<p>評価対象廃棄物の条件範囲を網羅した放射化計算によって放射能濃度を決定する。</p> <p>このため、同種の放射化金属が多数発生し、かつ、条件範囲が明確な放射化金属等に向く^{注1}。</p>	-	<p>（「点推定法」と「区間推定法」は、使い分けされると理解しましたので、追加の質問はありません。）</p>					
	点推定法	区間推定法												
評価方法の概要	<p>選定した評価対象廃棄物の特定位置の特定照射条件での放射化計算によって放射能濃度を決定する。</p> <p>このため、代表位置（例 最大値を示す位置）が選定できない放射化金属等の場合、多数の放射化計算（特定位置の</p>	<p>評価対象廃棄物の条件範囲を網羅した放射化計算によって放射能濃度を決定する。</p> <p>このため、同種の放射化金属が多数発生し、かつ、条件範囲が明確な放射化金属等に向く^{注1}。</p>												

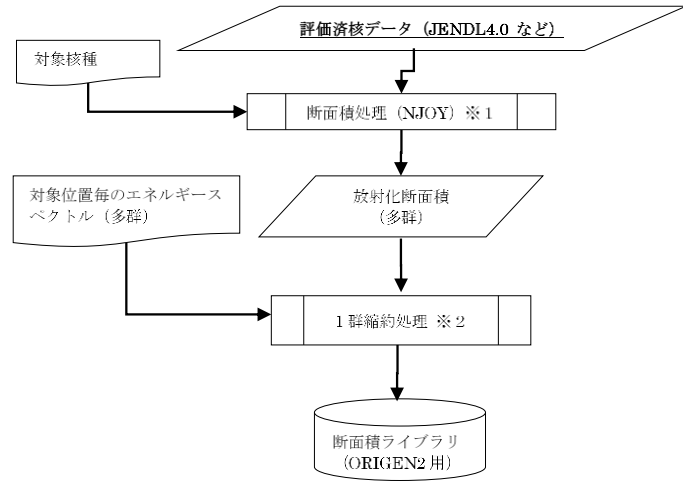
中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム
第2回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社) 日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）			質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容						
	<p>特定照射条件での)を実施する必要性が生じる。</p> <p>適する放射化金属等</p> <p>向かない放射化金属等</p>	<p>代表位置(例 最大値を示す位置、小型機器)が選定できる放射化金属等(挿入先端位置の濃度が高い制御棒、チャンネルボックスのファスナ部)</p> <p>・ 代表位置が明確に特定できない放射化金属等</p> <p>・ (多数の計算が必要となる)大量に発生する放射化金属等</p> <p>・ (多数の計算が必要となる)大型の放射化金属等</p>	<p>・ 同種の放射化金属が多数発生するもの(例 CB、BP、制御棒、黒鉛ブロック)</p> <p>・ 大型の放射化金属(例 シュラウド、炉心そう)</p> <p>発生量の少ない、小型の放射化金属</p>										
<p>(2)「A.3 放射化計算コードの例」に5種類のORIGENコードが挙げられていますが、それぞれの特徴と使い分けについて説明してください。また、各コードに内蔵される断面積ライブラリのもとなる核データとその処理方法について説明してください。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <table border="1" data-bbox="513 1745 1344 1906"> <tr> <td>コード</td> <td>内蔵又は付属の断面積ライブラリの基となる核データ</td> <td>断面積ライブラリの取扱い</td> </tr> <tr> <td>ORIGEN79</td> <td>ENDF/B-IV</td> <td></td> </tr> </table>			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	ORIGEN79	ENDF/B-IV		<p>計算コードはORIGEN-SとORIGEN2.2が最新で、それ以外の旧計算コードは何らかの機能・データが不足していると思われることから、5種類の計算コードを使用する必要性について質問したものです。</p>	<p>断面積ライブラリの基となる核データは計算コードごとに複数の版が示されているが、旧版でも使用可能としている理由について説明してください。</p>	<p>回答可能</p>	<p>本標準6.1.2.3に記載されているとおり(※)、基本的には最新の計算コード及び最新の核データを使用して計算を行います。</p> <p>なお、旧版の計算コード及び核データライブラリであっても分析値のある対象物について、最新版に対して旧版の計算コードまたは核データライブラリで評価した結果、主要核種に大幅な差異がない場合は使用可能と考えます。</p> <p>上述のとおり旧版を使用する場合、最新版との差異を評価したうえで使用することから、技術評価のスタンスとして最新のコード及び最新の核データを使用するスタンスとすることについて、本標準と乖離はありません。</p> <p>※標準の記載抜粋 6.1.2.3 中性子条件 b) 放射化断面積 a) の条件を考慮して、次のいずれかの方法で設定する。 — 使用する放射化計算コードに内蔵又は付属されている放射化断面積ライブラリから選択する。このとき、最新の計算コード及び放射化断面積ライブラリを確認する。</p> <p>○標準に記載している計算結果について 標準に記載している計算結果は最新版と旧版の両方で評価されていないため大幅な差異がないことは確認され</p>
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											
ORIGEN79	ENDF/B-IV												

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社) 日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）				質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																																																																														
	ORIGEN コード シリー ズ	ORIGEN-S	ENDF/B-VI	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 				<p>ていませんが、下表に示す、付属書 I 及び J の評価例に示される核種のうち放射化以外から発生する F P およびアクチノドを除いた放射化核種についての主要な核データライブラリの比較により大幅な差異はない（※）と考えております。</p> <p>（※）大幅な差異がないとは、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）」の脚注 b) に示すように、放射能濃度への影響が 2~3 倍程度以内の場合は影響が小さく、大幅な差異はないとしています。</p> <table border="1" data-bbox="2181 772 2858 976"> <thead> <tr> <th rowspan="2">生成核種</th> <th rowspan="2">主な生成反応*</th> <th colspan="4">ORLIBJ40/ORLIBJ32</th> <th colspan="4">ORLIBJ40/ORLIBJ33</th> </tr> <tr> <th>BS200</th> <th>BS270</th> <th>PWR34</th> <th>PWR47</th> <th>BS200</th> <th>BS270</th> <th>PWR34</th> <th>PWR47</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C-14</td> <td>N-14(n, p)</td> <td>1.38</td> <td>1.12</td> <td>1.04</td> <td>1.10</td> <td>1.34</td> <td>1.08</td> <td>1.00</td> <td>1.06</td> </tr> <tr> <td>Cl-36</td> <td>Cl-35(n, γ)</td> <td>1.30</td> <td>1.03</td> <td>0.95</td> <td>1.01</td> <td>1.53</td> <td>0.78</td> <td>0.87</td> <td>0.74</td> </tr> <tr> <td>Co-60</td> <td>Co-59(n, γ)</td> <td>1.22</td> <td>1.05</td> <td>1.00</td> <td>1.04</td> <td>1.22</td> <td>1.05</td> <td>1.00</td> <td>1.04</td> </tr> <tr> <td>Ni-63</td> <td>Ni-62(n, γ)</td> <td>1.29</td> <td>1.03</td> <td>0.95</td> <td>1.02</td> <td>1.29</td> <td>1.03</td> <td>0.95</td> <td>1.02</td> </tr> <tr> <td>Nb-94</td> <td>Nb-93(n, γ)</td> <td>0.41</td> <td>0.39</td> <td>0.38</td> <td>0.38</td> <td>0.41</td> <td>0.39</td> <td>0.38</td> <td>0.39</td> </tr> <tr> <td>Ta-99</td> <td>Mo-98(n, γ)</td> <td>1.04</td> <td>1.07</td> <td>1.07</td> <td>1.07</td> <td>1.05</td> <td>1.07</td> <td>1.08</td> <td>1.07</td> </tr> </tbody> </table> <p>*: 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</p>	生成核種	主な生成反応*	ORLIBJ40/ORLIBJ32				ORLIBJ40/ORLIBJ33				BS200	BS270	PWR34	PWR47	BS200	BS270	PWR34	PWR47	C-14	N-14(n, p)	1.38	1.12	1.04	1.10	1.34	1.08	1.00	1.06	Cl-36	Cl-35(n, γ)	1.30	1.03	0.95	1.01	1.53	0.78	0.87	0.74	Co-60	Co-59(n, γ)	1.22	1.05	1.00	1.04	1.22	1.05	1.00	1.04	Ni-63	Ni-62(n, γ)	1.29	1.03	0.95	1.02	1.29	1.03	0.95	1.02	Nb-94	Nb-93(n, γ)	0.41	0.39	0.38	0.38	0.41	0.39	0.38	0.39	Ta-99	Mo-98(n, γ)	1.04	1.07	1.07	1.07	1.05	1.07	1.08	1.07
生成核種	主な生成反応*	ORLIBJ40/ORLIBJ32				ORLIBJ40/ORLIBJ33																																																																																
		BS200	BS270	PWR34	PWR47	BS200	BS270	PWR34	PWR47																																																																													
C-14	N-14(n, p)	1.38	1.12	1.04	1.10	1.34	1.08	1.00	1.06																																																																													
Cl-36	Cl-35(n, γ)	1.30	1.03	0.95	1.01	1.53	0.78	0.87	0.74																																																																													
Co-60	Co-59(n, γ)	1.22	1.05	1.00	1.04	1.22	1.05	1.00	1.04																																																																													
Ni-63	Ni-62(n, γ)	1.29	1.03	0.95	1.02	1.29	1.03	0.95	1.02																																																																													
Nb-94	Nb-93(n, γ)	0.41	0.39	0.38	0.38	0.41	0.39	0.38	0.39																																																																													
Ta-99	Mo-98(n, γ)	1.04	1.07	1.07	1.07	1.05	1.07	1.08	1.07																																																																													
<p>(3)「A.3 放射化計算コードの例」に「評価対象とする放射化金属等を照射する中性子スペクトルを反映した断面積をユーザーが準備する」とありますが、具体的な設定方法について説明してください。</p>	<p>「評価対象とする放射化金属等を照射する中性子スペクトルを反映した断面積をユーザーが準備する」については、ORIGEN2 コードシリーズの手順です。ORIGEN2 コードシリーズについては、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）に対しては、前述の炉内の燃料領域のスペクトルで縮約された 1 群実効核反応断面積ライブラリが使用できますが、燃料領域以外など中性子スペクトルが異なる位置の放射化金属等（バッフルなどの解体廃棄物）に対しては、当該位置の中性子スペクトルを反映した 1 群縮約断面積を準備する必要があります。断面積の作成フローを下図に示します。</p>				<p>断面積の設定方法について参考となる図書等があれば、それを用いての具体例を質問したものです。</p>	<p>1 群実効核反応断面積ライブラリの作成フロー図中の「断面積処理 (NJOY)」及び「1 群縮約処理」について具体的な設定方法を説明してください。 （「評価対象とする放射化金属等を照射する中性子スペクトルを反映した断面積をユーザーが準備する」については、ORIGEN2 コードシリーズの手順です。」との回答をいただきました。放射化計算コードは、ORIGEN コードに限定して技術評価することになりました。）</p>	<p>「断面積処理 (NJOY)」及び「1 群縮約処理」について具体的な方法を注記に記載</p>	<p>断面積作成フローは、以下の文献[1]における断面積作成フロー（図 3.2-1）を参考としております。断面積処理 (NJOY) と 1 群断面積処理について、注記で説明します。</p> <p>[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」JAEA-Data/Code2012-032</p>  <p>図 1 群実効核反応断面積ライブラリの作成フロー</p>																																																																														

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																		
					<p>※1：JENDL4.0等の評価済核データは連続エネルギーのデータであるため、放射化金属等の評価対象核種に対して、別途、中性子輸送計算コードで計算した中性子スペクトルと同一のエネルギー群構造となるように、断面積処理コードのNJOYを用いて多群エネルギー群構造を有する断面積に処理する。</p> <p>※2：多群エネルギー群構造化した放射化断面積に、対象部位における中性子スペクトルの各エネルギー群毎の割合により重み付けすることで、ORIGEN2コードで利用可能な1群縮約断面積を作成する。</p>																		
<p>8. 「5.2.3.1 区間推定法の種類」には、「換算係数法」、「濃度比法」及び「放射能分布評価法」が規定されています。「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」には、「代表的な廃棄物の種類」として、例えばチャンネルボックスについては「換算係数法」及び「濃度比法」が適用可能とされていますが、同一の対象物に対してそれぞれの手法を適用した際の評価結果の同等性を説明してください。</p>	<p>「換算係数法」、「濃度比法」も、適用する個々の放射化計算は、入力用設定分布（「入力用基礎データベース」に基づき保守的に設定した分布）から、ランダムサンプリングで選定した入力条件を用いて「点推定法」と同じ理論計算で求めるものです。</p> <p>このため、区間推定法は、この点推定法（ただし、入力条件はランダムに選定した条件）による計算を多数行った結果ですので、「換算係数法」、「濃度比法」とも同じ計算結果（核種の放射能濃度）がベースとなります。</p> <p>この計算結果を用いて、評価対象核種と燃焼度との換算係数、又は評価対象核種とKey核種（例 Co-60、Cs-137）との濃度比で評価する方法が区間推定法で、それぞれの評価方法の特徴（例 運転管理データを利用、非破壊測定結果を利用）を踏まえて選択するものです。</p> <p>すなわち、下表に示すように、両者は同じ計算結果を使用して放射能濃度を評価しているものです。</p> <p>さらに、いずれの手法でも、実際の運用段階における入力条件の設定において、不確実性があるものは、十分な保守性をもって設定するため、保守的な結果によって評価できる方法となっています。（回答10も参照ください。）</p> <p>理論的計算法の入力条件設定から廃棄体の放射能濃度の決定までの流れと保守性</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">理論的方法</th> <th rowspan="2">点推定法</th> <th colspan="2">区間推定法</th> </tr> <tr> <th>換算係数法</th> <th>濃度比法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>入力条件の設定</td> <td>代表位置(例 最大を示す位置)の、中性子、照射条件及び元素(例 最大値)で設定する。</td> <td>入力用設定分布から「ランダムに選択した位置での中性子、照射条件」に加え、入力用設定分布から「ランダム抽出した元素条件」を繰り返し設定する(必要数量に達するまで)。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>放射化金属等の各位置における放射能濃度の計算結果</td> <td>1回の放射化計算の結果である放射能濃度が得られる。</td> <td>各入力条件での放射化計算の結果(上記の必要数量の放射能濃度の結果)が得られる。 なお、計算方法は、点推定法と同じ。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>放射能濃度の計算結果を使用した評価</td> <td>—</td> <td>上記の複数の放射能濃度の計算結果を使用して、放射能濃度と管理指標(例 燃焼度)との「換算</td> <td>上記の複数の放射能濃度の計算結果を使用して、評価核種とKey核種の「濃度比」を評価、設定する。</td> </tr> </tbody> </table>	理論的方法	点推定法	区間推定法		換算係数法	濃度比法	入力条件の設定	代表位置(例 最大を示す位置)の、中性子、照射条件及び元素(例 最大値)で設定する。	入力用設定分布から「ランダムに選択した位置での中性子、照射条件」に加え、入力用設定分布から「ランダム抽出した元素条件」を繰り返し設定する(必要数量に達するまで)。		放射化金属等の各位置における放射能濃度の計算結果	1回の放射化計算の結果である放射能濃度が得られる。	各入力条件での放射化計算の結果(上記の必要数量の放射能濃度の結果)が得られる。 なお、計算方法は、点推定法と同じ。		放射能濃度の計算結果を使用した評価	—	上記の複数の放射能濃度の計算結果を使用して、放射能濃度と管理指標(例 燃焼度)との「換算	上記の複数の放射能濃度の計算結果を使用して、評価核種とKey核種の「濃度比」を評価、設定する。	<p>「放射能分布評価法」は「濃度分布評価法」が正。「換算係数法」、「濃度比法」及び「濃度分布評価法」の使い分け、又は同等性について質問したものです。</p>	<p>—</p> <p>（「換算係数法」、「濃度比法」及び「濃度分布評価法」の具体的評価例について、「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第3回会合における日本原子力学会への説明依頼事項（案）に対する補足」（以下「第3回質問の補足」という。）の「はじめに」で説明してもらうことにしましたので、追加の質問はありません。）</p>		
理論的方法	点推定法			区間推定法																			
		換算係数法	濃度比法																				
入力条件の設定	代表位置(例 最大を示す位置)の、中性子、照射条件及び元素(例 最大値)で設定する。	入力用設定分布から「ランダムに選択した位置での中性子、照射条件」に加え、入力用設定分布から「ランダム抽出した元素条件」を繰り返し設定する(必要数量に達するまで)。																					
放射化金属等の各位置における放射能濃度の計算結果	1回の放射化計算の結果である放射能濃度が得られる。	各入力条件での放射化計算の結果(上記の必要数量の放射能濃度の結果)が得られる。 なお、計算方法は、点推定法と同じ。																					
放射能濃度の計算結果を使用した評価	—	上記の複数の放射能濃度の計算結果を使用して、放射能濃度と管理指標(例 燃焼度)との「換算	上記の複数の放射能濃度の計算結果を使用して、評価核種とKey核種の「濃度比」を評価、設定する。																				

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社) 日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）				質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
	<p>廃棄体の放射能濃度の決定</p>	<p>1回の放射化計算の結果を廃棄体の放射能濃度として、そのまま適用する。</p>	<p>係数」を評価、設定する。</p> <p>廃棄体に収納した放射化金属等の管理指標（例 燃焼度）に上記「換算係数」を乗じて、放射能濃度を決定する。</p>	<p>放射化金属等を収納した廃棄体の Key 核種を非破壊測定、又は放射化計算結果の集積結果に、上記「濃度比」を乗じて、放射能濃度を決定する。</p>				
<p>9. 「D.1.3 濃度比法」 （1）濃度比法は難測定核種と Key 核種の比を放射化計算により求める方法と規定されていますが、濃度比を用いて廃棄物の放射能濃度をどのように求めるのかを具体的に説明してください。Key 核種の放射能濃度を実測により求める場合は、「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」に記載する大型の評価対象物（シュラウド、圧力容器）の測定をどのように行うのか説明してください。</p>	<p>対象廃棄物の条件（元素、中性子、照射時間）範囲を網羅した放射化計算結果（スケールアップファクタ法のサンプリング・分析データに相当します）によって、評価対象核種と Key 核種（例えば、Co-60）の「濃度比」を評価し、廃棄体ごとの Key 核種の放射能濃度に、この評価した「濃度比」を乗じることによって、廃棄体の他の評価対象核種の放射能濃度を決定します。</p> <p>なお、廃棄体ごとの Key 核種の放射能濃度を決定する方法としては、次の2つの方法が考えられます。</p> <p>① 切断した大型廃棄物を容器に収納した廃棄物（切断片ごと）の Key 核種の放射能濃度を理論計算によって決定する。（廃棄体に収納した廃棄物の履歴トレースが必要となります）</p> <p>② 切断した大型廃棄物を収納した廃棄体の Key 核種の放射能濃度を廃棄体の非破壊外部測定によって決定する。</p>				<p>廃棄物容器に収納する前の段階での大型の評価対象物（シュラウド、圧力容器）の放射能濃度測定について実現可能性に疑問があることから質問したものです。</p>	<p>— （放射能濃度の求め方については、「第3回質問の補足」の「はじめに」で説明してもらうことにしましたので、追加の質問はありません。また、切断した大型廃棄物を収納した廃棄体の Key 核種の放射能濃度を廃棄体の非破壊外部測定によって決定する方法については、技術評価の対象外とすることとしたので、追加の質問はありません。）</p>		
<p>（2）「対象とする放射化金属等の各部位において、同一元素組成、同一中性子フルエンス率、同一照射履歴であることから、核種の濃度比は基本的に一定であるとの考え方に基づく」とされていますが、中性子フルエンス率及び照射履歴は炉内での位置により異なると想定されます。中性子フ</p>	<p>ここでの「対象とする放射化金属等の各部位（評価位置の意味）においては、同一元素組成、同一中性子フルエンス率、同一照射履歴」とは、放射化計算を行う選定位置における入力条件のことを示しており、1回の放射化計算における同じ選定位置での放射化計算の入力条件は、対象物がローテーション（燃料と一緒に移動するチャンネルボックスは、燃料サイクルごとに炉内で移動すること）によって対象物の炉内の位置が変わっても、核種ごとの放射能濃度の計算に適用する入力条件としては、各炉内設置位置での照射履歴を集積した同一の中性子フルエンス率及び照射時間になります。</p> <p>したがって、選定位置での元素組成、中性子フルエンス率、照射時間は、同一となります。また、区間推定法では、都度、対象とする放射化金属等の評価位置を選択して、この計算手順を繰り返します。</p>				<p>—</p>	<p>— （「第3回質問の補足」の「適用範囲と理論的方法の特徴」に関するもの」の質問2で更問をしています。）</p>		

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
 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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
 (一社) 日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
<p>ルエンス率及び照射履歴を同一として扱ってよい範囲及びその理由を説明してください。</p>	<p>なお、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。</p> $A = \sigma \times N \times \Phi \times t \times \lambda \quad (1)$ <p>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)</p> <p>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となります。</p> <p>これらの結果によって評価する核種間の「濃度比」は、附属書B（下表に抜粋）に示すように、中性子フルエンス率及び照射時間の差異の影響のパラメータスタディの結果を踏まえると、放射能濃度への影響は大きいものの、濃度比への影響は小さいことがわかっており、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」は一定となります。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="463 1115 937 1692"> <p>中性子フルエンス率の濃度比への影響 図 B.2 より抜粋（4 倍の変化の影響）</p> </div> <div data-bbox="937 1115 1389 1692"> <p>照射時間の濃度比への影響 図 B.5 より抜粋（1 日から 60 年間の影響）</p> </div> </div> <p>注記 附属書Bより抜粋</p>				
<p>(3) 難測定核種と Key 核種の比は、半減期の違いにより設定時から時間とともに変化していくと想定されますが、放射化</p>	<p>ご指摘のように、「濃度比」は、比較する核種間の半減期の差異によって、照射終了後の経過時間と共に変化します。このため、「濃度比」は、この照射後の減衰の影響を受けないよう放射化金属等の照射完了時点での放射化計算に統一することによって評価します。</p> <p>なお、廃棄確認時の申請する各核種の放射能濃度は、まず Key 核種に関して</p>	-	-		<p>（「照射後の減衰の影響を受けないよう放射化金属等の照射完了時点での放射化計算に統一する」こと</p>

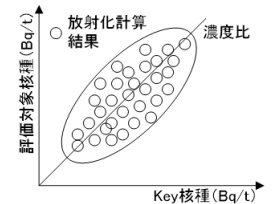
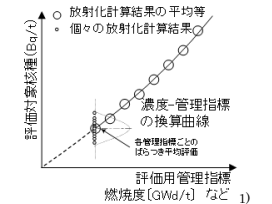
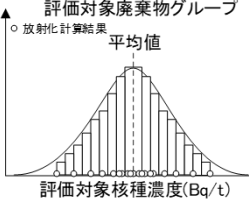
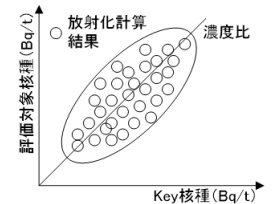
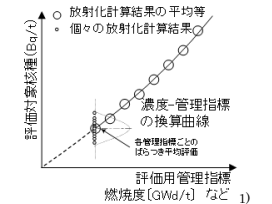
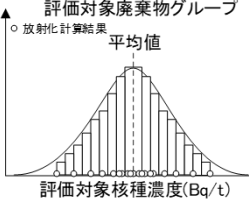
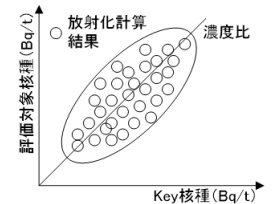
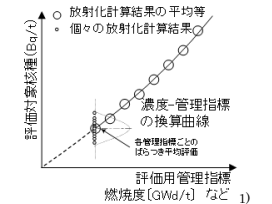
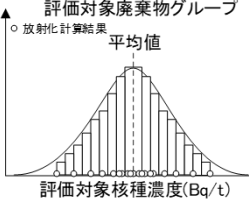
中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム
第2回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
<p>計算で求める濃度比から廃棄体の放射能濃度に換算する際に、上記の濃度比の変化をどのように考慮するのか説明してください。</p>	<p>半減期を考慮して減衰補正した値（例えば、非破壊測定して得られる Key 核種濃度を照射完了時点まで減衰補正した値に濃度比を乗じることによって評価対象核種の放射能濃度を評価）で評価し、この評価対象核種の放射能濃度を申請時点まで、再度減衰させた値で申請することになると想定されます。</p>		<p>により考慮することが明確に示されましたので、追加の質問はありません。）</p>		
<p>（4）「評価対象とする放射化金属等が特定されれば、中性子の照射履歴の詳細情報が明らかでない場合でも、Key 核種濃度を測定すれば、適用できる」とあります。この条件が当てはまるのは照射履歴が濃度比を計算した際の照射履歴の範囲に収まる場合であると想定されますが、照射履歴の詳細情報が明らかでないにも関わらず、濃度比法が適用できる理由を説明してください。</p>	<p>ここで示します「評価対象とする放射化金属等が特定されれば、中性子の照射履歴の詳細情報が明らかでない場合でも、Key 核種濃度を測定すれば適用できる」とは、標準のこの文章の前段において、「対象とする放射化金属等の照射履歴（照射終了後の減衰含む）を考慮した平均的な難測定核種と Key 核種との濃度比を評価していることから」と示していますように、事前に区間推定法による評価を行った上で、適用しているものです。</p> <p>このため、例えば、切断した容器に収納した「個々の放射化金属の切断片ごと」の詳細情報（切断片ごとの放射化金属等の種類、材質、部位（形状寸法含む）、中性子条件、照射条件、減衰条件）のいずれかが特定できなくとも、廃棄体に収納する「切断する前の放射化金属等」としての条件範囲の情報（種類、材質、中性子条件、照射条件、減衰条件の範囲）は把握できますので、区間推定法の計算に必要な入力条件は設定できます。</p> <p>したがって、この条件範囲を網羅した放射化計算によって得られた「濃度比」を使用して、かつ、廃棄体の Key 核種の放射能濃度を非破壊外部測定することによって、評価対象核種の放射能濃度を評価できることを意味しています。</p>	<p>「評価対象とする放射化金属等が特定されれば、中性子の照射履歴の詳細情報が明確でない場合でも、Key 核種濃度を測定すれば、適用できる」とは、この条件が当てはまるのは照射履歴が濃度比を計算した際の照射履歴の範囲に収まる場合が前提なのではないかと考え、質問したものです。</p>	<p>「中性子の照射履歴の詳細条件が明確でない場合」とは、「断片ごとの放射化金属等の種類、材質、部位（形状寸法含む）、中性子条件、照射条件、減衰条件のいずれかが特定できない場合」であること、「評価対象とする放射化金属等が特定されれば、中性子の照射履歴の詳細情報が明確でない場合でも、Key 核種濃度を測定すれば、適用できる」のは照射履歴が濃度比を計算した際の照射履歴の範囲に収まる場合であるとの具体的説明がありましたので、追加の質問はありません。）</p>		
<p>10. 「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」三つの手法について、代表的な評価対象とする放射化金属等の種類がそれぞれ記載されています。三つの手法は原理的には放射化金属等であれば評価対象とする放射化金属等の種類によらず適用できるものと想定されますが、対象となる放射化金属等が異なる理由を説明してください。また、同一の放射化金属等を三つの手法で計算した場合の評価結果の同等性を説明してください。</p>	<p>濃度比法、換算係数法及び濃度分布評価法の 3 つの区間推定法は、下表に示しますように、それぞれの特徴である下記の点を踏まえた最も適性を示す放射化金属への適用が望ましいと考えます。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・濃度比法： 同時に中性子照射され、生成した核種間の濃度比は一定性を示す放射化物への適性を示す。 ・換算係数法： 燃料の燃焼度などと密接な関係性を示す放射化物への適性を示す。 ・濃度分布評価法： 同一の照射時間、材料組成で、中性子分布だけが異なる放射化物への適性を示す。 <p>なお、各手法の個々の放射化計算自体は、点推定法と同じ（ただし、恣意的な入力条件でないように各条件をランダムサンプリングで設定）であり、個々の計算結果は、同じ結果を使用します。</p> <p>区間推定法は、その多数の放射化計算の結果を使用して評価する方法（比で評価する、管理指標との係数で評価する、濃度分布で評価する）が異なるだけです。</p> <p>したがって、各手法を選択する場合においては、「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観点で選択するため、次表に示します評価方法ごとの特徴、適する対象及び適用条件を踏まえた評価対象の具体例が考えられます。</p>	<p>—</p>	<p>— （「換算係数法」、「濃度比法」及び「濃度分布評価法」の使い分けについては、「第3回質問の補足」の「はじめに」で説明してもらったことにしましたので、追加の質問はありません。）</p>		

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																								
	<p>さらに、いずれの手法でも回答 8 に示しましたように、入力条件の設定において、不確定性があるものは、保守性をもって設定するため、保守的な結果をもって評価できる方法となっています。</p> <table border="1" data-bbox="463 470 1383 1719"> <thead> <tr> <th data-bbox="463 470 557 506">評価法</th> <th data-bbox="557 470 839 506">濃度比法(5.2.3.3)</th> <th data-bbox="839 470 1121 506">換算係数法(5.2.3.2)</th> <th data-bbox="1121 470 1383 506">濃度分布評価法(5.2.3.4)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="463 506 557 716">基礎データ模式図</td> <td data-bbox="557 506 839 716">  </td> <td data-bbox="839 506 1121 716">  </td> <td data-bbox="1121 506 1383 716">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="463 716 557 905">評価方法の特徴</td> <td data-bbox="557 716 839 905">同種の放射化物の中で同時に中性子照射され生成した核種の濃度比が一定であることを利用し、Key 核種 (Co-60) を利用し、Key 核種 (Co-60) の放射能濃度に計算で得られた濃度比を乗じて対象核種の放射能濃度を評価する方法</td> <td data-bbox="839 716 1121 905">核種の生成因子である燃料の燃焼度などの管理指標と密接な関係性をもつ放射化物の放射能濃度を、原子炉の運転で管理されている管理指標（燃焼度）の値から対象核種の放射能濃度を評価する方法</td> <td data-bbox="1121 716 1383 905">同一の照射時間、材料組成（中性子分布だけが異なる）の放射化物中に生成する核種の放射能濃度を位置ごとに計算し、対象とした放射化物全体の対象核種の放射能濃度分布として評価する方法</td> </tr> <tr> <td data-bbox="463 905 557 1094">適する評価対象</td> <td data-bbox="557 905 839 1094">材料、中性子条件、照射時間の変動範囲を考慮した評価方法であるため、これらの変動があり、多数の発生が想定される放射化物、多数の位置に配置される放射化物又は大型の放射化物に向く</td> <td data-bbox="839 905 1121 1094">燃焼度、中性子照射量との強い関係性を考慮した評価方法であり、これを管理指標として適用するため、燃料との関係が強い放射化物に向く</td> <td data-bbox="1121 905 1383 1094">放射能濃度分布が比較的狭い範囲となる解体廃棄物、特に、原子炉軸方向又は径方向の中性子分布だけが異なるタイプの固定された放射化物に向く</td> </tr> <tr> <td data-bbox="463 1094 557 1346">適用条件³⁾</td> <td data-bbox="557 1094 839 1346">①評価対象とする切断等が行われた機器/機材を廃棄体に収納した状態での放射能濃度の評価に適用する。 ②廃棄体と対象放射化金属等との連関管理が出来ること。</td> <td data-bbox="839 1094 1121 1346">①燃料の燃焼度、原子炉内での中性子照射量の管理記録が示せる燃料及び燃焼制御に使用している機器/機材の放射能濃度の評価に適用する。 ②燃料の燃焼度又は照射量と対象放射化金属等との連関記録が示せること。</td> <td data-bbox="1121 1094 1383 1346">①解体する大型の機器、機材全体の放射能濃度の評価に適用する。 ②機器/機材が、部分的に交換されていないこと及び炉内での移動が無いこと。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="463 1346 557 1719">適する評価対象の具体例³⁾</td> <td data-bbox="557 1346 839 1719">BWR: 多数発生するチャンネルボックス、制御棒、多数の位置に配置された解体廃棄物 (CRD ガイドチューブなど)、大型の放射化物 (シラウド、圧力容器²⁾、上部格子板、炉心支持板) PWR: 多数発生するバーナブルポイズン、制御棒、多数の位置に配置された解体廃棄物 (制御棒クラスター案内管など)、大型の解体廃棄物 (圧力容器²⁾、炉心槽、熱遮へい体、バップル、下部炉心支持板)</td> <td data-bbox="839 1346 1121 1719">BWR: 燃焼度との関係が強いチャンネルボックス、中性子照射量との関係が強い制御棒 PWR: 燃焼度との関係が強いバーナブルポイズン、中性子照射量との関係が強い制御棒</td> <td data-bbox="1121 1346 1383 1719">BWR: 大型の固定されたシラウド、圧力容器、格子板、支持板 PWR: 大型の固定された圧力容器、炉心槽、熱遮へい体、炉心バップル、支持板</td> </tr> </tbody> </table>	評価法	濃度比法(5.2.3.3)	換算係数法(5.2.3.2)	濃度分布評価法(5.2.3.4)	基礎データ模式図				評価方法の特徴	同種の放射化物の中で同時に中性子照射され生成した核種の濃度比が一定であることを利用し、Key 核種 (Co-60) を利用し、Key 核種 (Co-60) の放射能濃度に計算で得られた濃度比を乗じて対象核種の放射能濃度を評価する方法	核種の生成因子である燃料の燃焼度などの管理指標と密接な関係性をもつ放射化物の放射能濃度を、原子炉の運転で管理されている管理指標（燃焼度）の値から対象核種の放射能濃度を評価する方法	同一の照射時間、材料組成（中性子分布だけが異なる）の放射化物中に生成する核種の放射能濃度を位置ごとに計算し、対象とした放射化物全体の対象核種の放射能濃度分布として評価する方法	適する評価対象	材料、中性子条件、照射時間の変動範囲を考慮した評価方法であるため、これらの変動があり、多数の発生が想定される放射化物、多数の位置に配置される放射化物又は大型の放射化物に向く	燃焼度、中性子照射量との強い関係性を考慮した評価方法であり、これを管理指標として適用するため、燃料との関係が強い放射化物に向く	放射能濃度分布が比較的狭い範囲となる解体廃棄物、特に、原子炉軸方向又は径方向の中性子分布だけが異なるタイプの固定された放射化物に向く	適用条件 ³⁾	①評価対象とする切断等が行われた機器/機材を廃棄体に収納した状態での放射能濃度の評価に適用する。 ②廃棄体と対象放射化金属等との連関管理が出来ること。	①燃料の燃焼度、原子炉内での中性子照射量の管理記録が示せる燃料及び燃焼制御に使用している機器/機材の放射能濃度の評価に適用する。 ②燃料の燃焼度又は照射量と対象放射化金属等との連関記録が示せること。	①解体する大型の機器、機材全体の放射能濃度の評価に適用する。 ②機器/機材が、部分的に交換されていないこと及び炉内での移動が無いこと。	適する評価対象の具体例 ³⁾	BWR: 多数発生するチャンネルボックス、制御棒、多数の位置に配置された解体廃棄物 (CRD ガイドチューブなど)、大型の放射化物 (シラウド、圧力容器 ²⁾ 、上部格子板、炉心支持板) PWR: 多数発生するバーナブルポイズン、制御棒、多数の位置に配置された解体廃棄物 (制御棒クラスター案内管など)、大型の解体廃棄物 (圧力容器 ²⁾ 、炉心槽、熱遮へい体、バップル、下部炉心支持板)	BWR: 燃焼度との関係が強いチャンネルボックス、中性子照射量との関係が強い制御棒 PWR: 燃焼度との関係が強いバーナブルポイズン、中性子照射量との関係が強い制御棒	BWR: 大型の固定されたシラウド、圧力容器、格子板、支持板 PWR: 大型の固定された圧力容器、炉心槽、熱遮へい体、炉心バップル、支持板				
評価法	濃度比法(5.2.3.3)	換算係数法(5.2.3.2)	濃度分布評価法(5.2.3.4)																										
基礎データ模式図																													
評価方法の特徴	同種の放射化物の中で同時に中性子照射され生成した核種の濃度比が一定であることを利用し、Key 核種 (Co-60) を利用し、Key 核種 (Co-60) の放射能濃度に計算で得られた濃度比を乗じて対象核種の放射能濃度を評価する方法	核種の生成因子である燃料の燃焼度などの管理指標と密接な関係性をもつ放射化物の放射能濃度を、原子炉の運転で管理されている管理指標（燃焼度）の値から対象核種の放射能濃度を評価する方法	同一の照射時間、材料組成（中性子分布だけが異なる）の放射化物中に生成する核種の放射能濃度を位置ごとに計算し、対象とした放射化物全体の対象核種の放射能濃度分布として評価する方法																										
適する評価対象	材料、中性子条件、照射時間の変動範囲を考慮した評価方法であるため、これらの変動があり、多数の発生が想定される放射化物、多数の位置に配置される放射化物又は大型の放射化物に向く	燃焼度、中性子照射量との強い関係性を考慮した評価方法であり、これを管理指標として適用するため、燃料との関係が強い放射化物に向く	放射能濃度分布が比較的狭い範囲となる解体廃棄物、特に、原子炉軸方向又は径方向の中性子分布だけが異なるタイプの固定された放射化物に向く																										
適用条件 ³⁾	①評価対象とする切断等が行われた機器/機材を廃棄体に収納した状態での放射能濃度の評価に適用する。 ②廃棄体と対象放射化金属等との連関管理が出来ること。	①燃料の燃焼度、原子炉内での中性子照射量の管理記録が示せる燃料及び燃焼制御に使用している機器/機材の放射能濃度の評価に適用する。 ②燃料の燃焼度又は照射量と対象放射化金属等との連関記録が示せること。	①解体する大型の機器、機材全体の放射能濃度の評価に適用する。 ②機器/機材が、部分的に交換されていないこと及び炉内での移動が無いこと。																										
適する評価対象の具体例 ³⁾	BWR: 多数発生するチャンネルボックス、制御棒、多数の位置に配置された解体廃棄物 (CRD ガイドチューブなど)、大型の放射化物 (シラウド、圧力容器 ²⁾ 、上部格子板、炉心支持板) PWR: 多数発生するバーナブルポイズン、制御棒、多数の位置に配置された解体廃棄物 (制御棒クラスター案内管など)、大型の解体廃棄物 (圧力容器 ²⁾ 、炉心槽、熱遮へい体、バップル、下部炉心支持板)	BWR: 燃焼度との関係が強いチャンネルボックス、中性子照射量との関係が強い制御棒 PWR: 燃焼度との関係が強いバーナブルポイズン、中性子照射量との関係が強い制御棒	BWR: 大型の固定されたシラウド、圧力容器、格子板、支持板 PWR: 大型の固定された圧力容器、炉心槽、熱遮へい体、炉心バップル、支持板																										
	<p>注1 換算係数法の模式図では、燃焼度ごとの個々の計算結果を評価した場合で例示している。</p> <p>注2 圧力容器などは、浅地中ピット処分の最大濃度を下回ると推定されるが、中深度処分の可能性がある廃棄物である。</p>																												

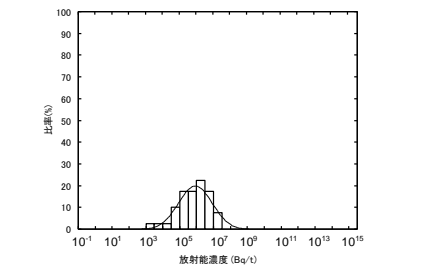
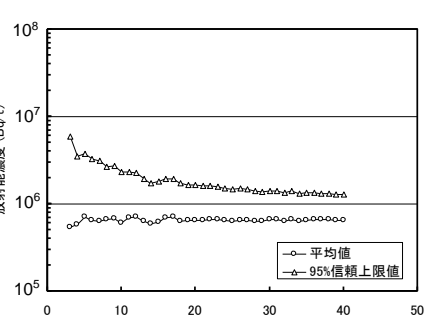
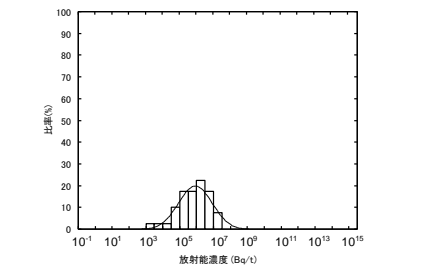
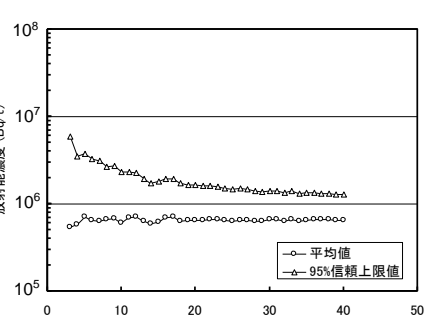
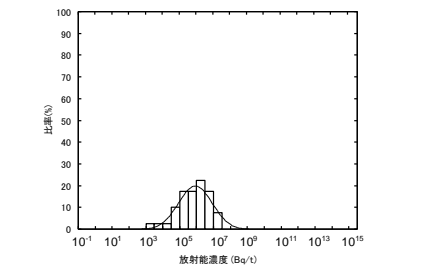
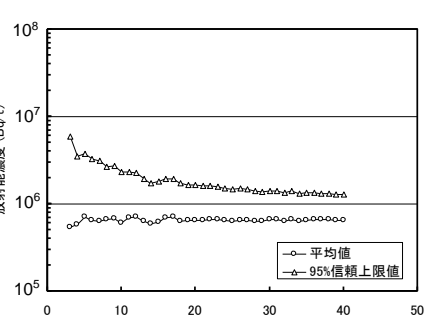
中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム
第2回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
	注3 適用条件及び具体例は、標準中に具体的には示していないが、標準はこれらを踏まえている。				
11. 「D.1.4 濃度分布評価法」 （1）「この方法における放射化計算方法は、基本的に個別の廃棄物の放射能濃度を計算する場合と同等であるが、評価の対象とする放射化金属等のグループを代表する放射能濃度（例えば、平均放射能濃度）を保証できることが適用の前提となる。」とあります。ここで、「放射能濃度を保証する」具体的な方法について説明してください。	そのグループの個々の廃棄物について、下記の条件にあることです。 ・材料が同一規格仕様のものであること （鋼材検査証明書などの材料製造単位の品質証明ができるもので、品質変化が無いことの確認を行う） ・中性子フルエンス率がある一定の範囲内にあること （原子炉内の中性子フルエンス率の分布を中性子輸送計算などで事前に評価し確認する） ・中性子照射条件が同一であること （評価対象物の一部交換、移動履歴が無いことの確認を行う）	—	— （「放射能濃度を保証できることが適用の前提」の意味は、「材料が同一規格仕様のものであること」、「中性子フルエンス率がある一定の範囲内にあること」及び「中性子照射条件が同一であること」であると具体的な説明がありましたので、追加の質問はありません。）		
（2）本評価法の適用に当たっては、「計算条件（例えば、中性子フルエンス率）の変動範囲がある一定の範囲内となる必要となる。」とされていますが、「ある一定の範囲内」について具体的にその範囲を説明してください。	「ある一定の範囲内」とは、例えば中性子フルエンス率については、炉心を構成している機器、機材を評価対象とする場合には、その機器、機材の位置に応じた中性子フルエンス率が炉心計算等により評価されているという意味です。 この中性子フルエンス率は、放射化計算を実施する前に、原子炉内の中性子輸送計算によって評価され、最大値、最小値間の分布が確認できていることから、この状態を「ある一定の範囲内」にあるという表記にしています。	—	— （「炉心計算等によって評価され、最大値、最小値間の分布が確認できている中性子フルエンス率の範囲を「ある一定の範囲内」とする」との説明があり、具体的範囲がわかりましたので、追加の質問はありません。）		
（3）本評価方法を適用するに当たり、変動要因となりうる計算条件に、例示された中性子フルエンス率以外の条件があればそれを示して下さい。あわせて、「計算条件の変動範囲が計算結果に与える影響が小さいことが明らかかな条件については、複数の計算条件を設定せず一つの値（代表的な値又は保守的な値）を設定できる。」で示されている「計算結果に与える影響が小さいことが明らか	対象とする固定された大型の炉内構造物に対して、変動要因となりうる計算条件としては、中性子フルエンス率だけであると考えております。 また、「計算結果に与える影響が小さいことが明らかかな条件」としては、評価対象の機器又は部材を移動、交換していないことと考えます。 これによって、中性子照射条件（照射時間、停止時間）は、原子炉内に運転開始（試運転）から運転終了まで存在している種々の構造物に対して相違はなく、ひとつの値（同一の条件）を設定できます。	—	— （変動要因は、中性子フルエンス率のみであること、「計算結果に与える影響が小さいことが明らかかな条件」としては、評価対象の機器又は部材を移動、交換していないこととの具体的な説明がありましたので、追加の質問はありません。）		

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
（一社）日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容		
<p>な条件」の具体例を示してください。</p> <p>（4）「複数の放射化計算結果が一定の範囲内に安定して分布していることを評価し判断することが適切である。」とありますが、「安定して分布している」とはどのような状態を指すのか説明してください。</p>	<p>評価の対象とする放射化金属等の放射能濃度を評価した結果である放射能濃度分布を代表する放射能濃度（例えば、平均放射能濃度）の信頼性が、計算の回数（総数）を増加させても向上しないという意味です。</p> <p>具体的には、放射化計算によって評価した放射化金属等の放射能濃度分布の平均放射能濃度の 95%信頼上限値は、実施した放射化計算の数量に応じて変化し、計算の回数が少ないとより大きな値を示します。しかし、計算の数量を多くすることで「平均放射能濃度」と「平均放射能濃度の 95%信頼上限値」の差は、下図（附属書 K の図 K.5 及び K.6 から抜粋）に示しますように、差異が小さくなって漸近して一定の差の状態になります。この状態を「安定して分布している」と表記しました。</p> <div data-bbox="463 779 1391 1157"> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="463 779 928 1157"> <p>Nb-94 の放射能濃度分布評価法による結果</p>  </td> <td data-bbox="928 779 1391 1157"> <p>Nb-94 の平均値の信頼上限の漸近性</p>  </td> </tr> </table> </div>	<p>Nb-94 の放射能濃度分布評価法による結果</p> 	<p>Nb-94 の平均値の信頼上限の漸近性</p> 	<p>安定して分布していると判断する定量的な基準について質問したものです。</p>	<p>「安定して分布している」とは、「平均放射能濃度」と「平均放射能濃度の 95%信頼上限値」の差が小さくなって漸近して一定の差の状態になることを指すとしているとの回答ですが、「平均放射能濃度」と「平均放射能濃度の 95%信頼上限値」の差が小さくなって漸近して一定の差の状態になる」について、「一定の差の状態」とは計算回数を増加させた場合、両者の差の変動幅が何パーセント以内に収まることをいうのか説明してください。</p>	<p>回答可能</p>	<p>附属書 K の図 K.5 に示しましたように、計算の数量を多くすることで、「平均放射能濃度」と「平均放射能濃度の 95%信頼上限値」の差異が小さくなる傾向が見られます。これは両者の値が一定の値に近づく結果によるものです。</p> <p>資料 2-1-1 で回答しましたように、両者の差異が小さくなって漸近して一定の差の状態になる状態を、「安定して分布している」と表記しましたが、誤解を生じさせる回答となっていました。</p> <p>「安定して分布している」と表記したのは、両者の値が一定の値に近づく状態を指しているものです。その判断は、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 13(4) と同様に、統計値の安定性で評価します。すなわち、附属書の図 K.5 に示しますように、統計値安定後の濃度の平均値と 95%信頼上限値がほとんど変化しない状態になっていることを視覚的に確認することで判断しています。定量的には、計算の数量が 30 以上になる段階から各々の値の変化が 10% 以内に安定してくることから、このケースでは、10% が定量的な基準と判断できると考えます。</p>
<p>Nb-94 の放射能濃度分布評価法による結果</p> 	<p>Nb-94 の平均値の信頼上限の漸近性</p> 						
<p>12. 「図 D.1—区間推定法による放射化計算の入力データの基本設定フロー」放射化断面積の設定において、ORIGEN、MCNP (PHITS も用いるのであれば、それを含む) を使用する際に、どのような核データライブラリを用いるかによって計算結果に差異が生じると想定されます。使用を想定している核データライブラリとともに、核データライブラリによって計算結果に差異があるのか、差異があるならば、放射能濃度決定においてどのように考慮するのかを説明してください。</p>	<p>基本的には核データライブラリは、日本原子力研究開発機構などの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り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ライブラリ¹⁾であり、また、各種実験データに基づくベンチマーク解析によって臨界や遮蔽（中性子、ガンマ線）の観点でバージョン間の比較を含めて検証²⁾された信頼性の高いものであることから、どれも使用することは可能と考えます。</p> <p>注1) https://www.ndc.jaea.go.jp/Labo/index_J.html 注2) K. Shibata et al., "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3", J. Nucl. Sci. Technol. vol 39, No. 11, p. 1125 (2002).</p> <p>核データライブラリの選定においては、その時点での新しい核データライブラリとの比較を行い、差異を確認した上で使用することとなります。もし、核データライブラリ間での大きな差異があれば、新知見の反映の有無や実測値との比較によって妥当性を確認することとなります。</p> <p>なお、中性子フルエンス率評価、放射化評価において、使用を想定されている核データライブラリの例は、以下のとおりです。</p> <p>JENDL-4.0、JENDL-3.3、JENDL-3.2、JENDL-3、JENDL/AD-2017³⁾</p>	<p>各データライブラリはバージョンによってデータが異なるため、使用するライブラリの違いがどの程度放射能濃度の評価結果に影響があるかを確認したものです。</p>	<p>使用を想定している核データライブラリについては回答いただきましたが、計算結果に差があるのか、あるならば、放射能濃度決定においてどのように考慮するのかについては回答いただいていません。核データライブラリによって具体的どの程度の差があるのかを評価例等で示してください。また、差がある場合、放射能濃度にどのように考慮するのかについても、例で示してください。</p>	<p>核データライブラリの影響についての放射能濃度の評価事例がないため、断面積の比較結果を提示。</p>	<p>現状、ライブラリの違いによる放射能濃度への影響の評価データはありませんが、放射化断面積の値の差異により概ね評価結果の差異を推定できます。放射化断面積の差異を確認した例を以下に示します。</p> <p>放射化計算の核データライブラリについて、JENDL-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 の同一のスペクトルで 1 群に縮約された放射化断面積の値の比をとった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。</p> <p>下表の例において、ORLIBJ32、ORLIBJ33、ORLIBJ40 の放射化断面積の値の比較においては、CI-36 の例では ORLIBJ32 に対する ORLIBJ40 の値は 0.95~1.30 倍、ORLIBJ33 に対する ORLIBJ40 の値は 0.74~1.53 倍のばらつきがあります。CI-36 の例では旧ライブラリに対する新ライブラリの断面積の値は 0.74~1.53 倍の影響があることが確認され、断面積と比例関係（※1）にある放射能濃度への影響の程度もおおよそ同程度と推測されます。</p> <p>なお、表中では核データライブラリの比較により旧ライ</p>		

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																																																																														
	<p>ENDF/B-IV、ENDF/B-V、ENDF/B-VI、ENDF/B-VII 注3) https://www.ndc.jaea.go.jp/ftpnd/jendl/jendl-ad-2017/jendl-ad-2017.html (原子炉施設などの廃止措置に資するため、放射性核種の生成量評価のために日本原子力研究開発機構にて整備された放射化断面積。 「核原料物質又は核燃料物質の精錬の事業に関する規則に基づく線量限度等を定めた告示」（原子力規制委員会告示第八号）に記載された放射性核種のうち原子炉施設に係わる核種に起因する放射能の評価に必要となる311核種（親核種数）を網羅する放射化断面積データベース）</p>				<p>ブラリに対する新ライブラリの断面積の比が2~3倍程度以内に収まっていることから大幅な差異はない(※2)と考えられますが、もし旧版を使用する場合は、最新の核データライブラリに対する旧版の不確かさを確認した上で、大幅な差異がある場合にはそれを包含するように放射能濃度の評価値に補正する方法が考えられます。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">生成核種</th> <th rowspan="2">主な生成反応*</th> <th colspan="4">ORL1BJ40/ORL1BJ32</th> <th colspan="4">ORL1BJ40/ORL1BJ33</th> </tr> <tr> <th>BS200</th> <th>BS270</th> <th>PWR34</th> <th>PWR47</th> <th>BS200</th> <th>BS270</th> <th>PWR34</th> <th>PWR47</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C-14</td> <td>N-14(n, p)</td> <td>1.38</td> <td>1.12</td> <td>1.04</td> <td>1.10</td> <td>1.34</td> <td>1.08</td> <td>1.00</td> <td>1.06</td> </tr> <tr> <td>Cl-36</td> <td>Cl-35(n, γ)</td> <td>1.30</td> <td>1.03</td> <td>0.95</td> <td>1.01</td> <td>1.53</td> <td>0.78</td> <td>0.87</td> <td>0.74</td> </tr> <tr> <td>Co-60</td> <td>Co-59(n, γ)</td> <td>1.22</td> <td>1.05</td> <td>1.00</td> <td>1.04</td> <td>1.22</td> <td>1.05</td> <td>1.00</td> <td>1.04</td> </tr> <tr> <td>Ni-63</td> <td>Ni-62(n, γ)</td> <td>1.29</td> <td>1.03</td> <td>0.95</td> <td>1.02</td> <td>1.29</td> <td>1.03</td> <td>0.95</td> <td>1.02</td> </tr> <tr> <td>Nb-94</td> <td>Nb-93(n, γ)</td> <td>0.41</td> <td>0.39</td> <td>0.38</td> <td>0.38</td> <td>0.41</td> <td>0.39</td> <td>0.38</td> <td>0.39</td> </tr> <tr> <td>Tc-99</td> <td>Mo-98(n, γ)</td> <td>1.04</td> <td>1.07</td> <td>1.07</td> <td>1.07</td> <td>1.05</td> <td>1.07</td> <td>1.08</td> <td>1.07</td> </tr> </tbody> </table> <p>*: 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</p> <p>(※1) 放射能濃度が断面積と比例関係にあるとは、放射化の計算式は以下に示すとおりであり、断面積(σ)と放射能(A)は比例関係となります。 放射化計算式(⁶⁰Coの例) A = No σ φ { 1 - exp(-λ T₁) } A : 放射化核種(⁶⁰Co)の放射能(Bq) No : ターゲット核種(⁵⁹Co)の個数(atoms) σ : 中性子による⁵⁹Coの(n, γ)反応断面積(cm²) φ : 照射中性子束(n/(cm²・s)) λ : ⁶⁰Coの崩壊定数(3.6001×10⁻⁴/日) T₁ : 照射日数(日)</p> <p>(※2) 大幅な差異がないとは、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)」の脚注b)に示すように、放射能濃度への影響が2~3倍程度以内の場合は影響が小さく、大幅な差異はないとしています。</p>	生成核種	主な生成反応*	ORL1BJ40/ORL1BJ32				ORL1BJ40/ORL1BJ33				BS200	BS270	PWR34	PWR47	BS200	BS270	PWR34	PWR47	C-14	N-14(n, p)	1.38	1.12	1.04	1.10	1.34	1.08	1.00	1.06	Cl-36	Cl-35(n, γ)	1.30	1.03	0.95	1.01	1.53	0.78	0.87	0.74	Co-60	Co-59(n, γ)	1.22	1.05	1.00	1.04	1.22	1.05	1.00	1.04	Ni-63	Ni-62(n, γ)	1.29	1.03	0.95	1.02	1.29	1.03	0.95	1.02	Nb-94	Nb-93(n, γ)	0.41	0.39	0.38	0.38	0.41	0.39	0.38	0.39	Tc-99	Mo-98(n, γ)	1.04	1.07	1.07	1.07	1.05	1.07	1.08	1.07
生成核種	主な生成反応*	ORL1BJ40/ORL1BJ32						ORL1BJ40/ORL1BJ33																																																																											
		BS200	BS270	PWR34	PWR47	BS200	BS270	PWR34	PWR47																																																																										
C-14	N-14(n, p)	1.38	1.12	1.04	1.10	1.34	1.08	1.00	1.06																																																																										
Cl-36	Cl-35(n, γ)	1.30	1.03	0.95	1.01	1.53	0.78	0.87	0.74																																																																										
Co-60	Co-59(n, γ)	1.22	1.05	1.00	1.04	1.22	1.05	1.00	1.04																																																																										
Ni-63	Ni-62(n, γ)	1.29	1.03	0.95	1.02	1.29	1.03	0.95	1.02																																																																										
Nb-94	Nb-93(n, γ)	0.41	0.39	0.38	0.38	0.41	0.39	0.38	0.39																																																																										
Tc-99	Mo-98(n, γ)	1.04	1.07	1.07	1.07	1.05	1.07	1.08	1.07																																																																										
<p>13. 「D.4.3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定」 「b) 元素分析データ数が比較的少ない場合」について、「保守性を加味した平均値、標準偏差を適用することで、評価対象とする元素成分濃度分布を設定できる」としていま</p>	<p>検出データの平均値の95%信頼上限を設定平均値とするなどによって設定した「入力用設定分布」の分布範囲全体(平均値と標準偏差による分布の設定を行ったもの)を使用して、その中から、「入力用基礎データベース」の分布形状に応じた確率分布の全体からランダムサンプリングによって、1つずつの入力データを選定し、この選定操作を入力データ数として充足するまで続け、入力条件を作り上げます。 これによって、「入力用設定分布」の部分的な範囲でなく、保守的に設定した濃度分布の全体範囲を網羅した入力条件とすることが出来ます。</p>	<p>設定した濃度分布からどのように放射化計算に用いる元素成分条件を設定するのかの説明がなかったため確認したものです。</p>	<p>— (元素成分条件の設定には、検出下限値をそのまま使用する方法と、放射化学分析結果から推定する方法のほかに、設定した濃度分布全体からランダムサンプリングを用いて設定する方法がある旨説明が</p>		<table border="1"> <tr> <td>理論的方法</td> <td>元素成分条件</td> <td>中性子条件</td> <td>照射条件</td> </tr> </table>	理論的方法	元素成分条件	中性子条件	照射条件																																																																										
理論的方法	元素成分条件	中性子条件	照射条件																																																																																

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）			質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容	
<p>す。例示として p46 の図では、検出データの平均値の 95%信頼上限を設定平均値とした「保守的な範囲を設定した分布」が示されていますが、この元素成分濃度分布のどの範囲を用いて放射化計算を行うか説明してください。</p>	<p>点推定法 (特定放射化物の代表データによる設定)</p>	<p>(本文 6.1.2.2) 入力用基礎データベースの起源元素濃度分布を踏まえ、保守性（信頼上限値の適用など）を勘案して設定する。</p>	<p>(本文 6.1.2.3) 入力用基礎データベースの中性子フルエンス率分布を踏まえ、保守性（最大条件の適用など）を勘案して設定する。</p>	<p>(本文 6.1.2.4) 入力用基礎データベースの照射時間分布を踏まえ、保守性（最大時間の適用など）を勘案して設定する。</p>		<p>ありましたので、追加の質問はありません。）</p>		
	<p>区間推定法 (放射化物の範囲を網羅する複数の入力データの設定)</p>	<p>入力用設定分布からのランダムサンプリング <ul style="list-style-type: none"> 分析などにより収集された起源元素の入力用基礎データベースから設定した入力用設定分布（保守性考慮した分布）からのランダム抽出によって設定する。 必要な放射化計算用の数を満たすまで繰り返し設定する。 ランダム抽出方法は、JIS Z 9031 に示される方法。（右記にも適用） </p>	<p>入力用基礎データベースの分布からのランダムサンプリング <ul style="list-style-type: none"> 評価対象廃棄物の「評価位置（部位）」をランダム抽出によって設定する。 ローテーションのある場合、運転サイクルごとの炉内挿入位置の実績（例 炉内の中央部→中央部→最外周部などといった挿入パターン）からランダムに「炉内挿入位置」を設定する。 輸送計算による分布から、選定した対象廃棄物の「評価位置」及び「炉内挿入位置」における中性子フルエンス率及びスペクトル（放射化断面積）を設定する。 </p>	<p>入力用設定分布からのランダムサンプリング <ul style="list-style-type: none"> 収集された運転管理データ（運転サイクル、照射時間）による入力用基礎データベースから設定した入力用設定分布からのランダム抽出によって照射時間を設定する。 ローテーションのある場合、評価対象廃棄物の運転サイクルごとの「炉内挿入位置」のパターンをランダムに設定する。 このサイクルごとの炉内挿入位置のパターンは、中性子条件の設定と同じ </p>				
<p>14. 「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」の「例2 検出最大値から分布を評価する場合のイメージ」について、1～2 点の検出データから</p>	<p>検出下限値のデータ必要数を定量的に評価することは、難しいと考えます。ただし、元素分析において「検出下限値のみ」又は「1, 2 点の検出データ」となるおそれのある元素は、附属書 D の表 D.4 に示しますように、検出することが比較的難しい「微量成分元素」であり、その濃度分布は、附属書 G の表 G.13 に示します多くの文書にありますように「対数正規分布」を示すと考えられます。</p>			<p>サンプリングの不確かさ、分析の不確かさがあるため、数点の検出データのみでは、その平均を推定分布の検出最大</p>	<p>「実際に適用した「測定機器、測定時間、測定試料量及びバックグラウンド」を確認し、データ数を含めた妥当性を評価することが適切であると考えます。」との回答をいただきました。</p>	<p>回答可能</p>	<p>(I 「実際に適用した測定機器、測定時間、測定試料量及びバックグラウンド」) 第2回会合資料中の「なお、元素濃度の分析による検出下限値は、測定機器、測定時間、測定試料量、バックグラウンドなどによって決まるものですので、分析データ数に依存することは低いと考えられます。」の文章ですが、放射能計測（単位時間あたりに崩壊する原子の個数（放射性崩壊</p>	

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																					
<p>得られた濃度を「検出最大値（保守的）」として、推定分布の平均濃度（設定値）を検出最大値（保守的）の-2σに設定しています。</p> <p>（1）この方法が適用できる検出下限値（以下「N.D. 値」という。）のデータ数が十分にある場合と想定されますが、そのデータ数を示してください。</p>	<p>その分布の信頼性を左右する検出下限値の妥当性は、種々の文献での材料種類、分析方法の情報によって評価することは可能であることから、標準ではこの入力データの設定の考え方を示しております。このため、検出下限値以下又は1, 2点の検出値以下の濃度領域での対数正規分布を設定して評価することは、適切であると考えています。</p> <p>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</p> <table border="1" data-bbox="474 604 1380 1144"> <thead> <tr> <th rowspan="2">成分管理条件</th> <th>主成分元素</th> <th>不純物成分元素</th> <th>微量成分元素</th> </tr> <tr> <th>管理範囲がある</th> <th>管理上限がある</th> <th>管理値なし</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>基本的考え方</td> <td>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。</td> <td>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。</td> <td>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。</td> </tr> <tr> <td>各元素の濃度分布</td> <td>正規分布</td> <td>対数正規分布</td> <td>対数正規分布</td> </tr> </tbody> </table> <p>表 G. 13—元素の濃度分布を対数正規分布として扱う例</p> <table border="1" data-bbox="489 1213 1365 1894"> <thead> <tr> <th></th> <th>濃度分布を対数正規分布とした例</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 [31]</td> <td>作業場内における有害物質の濃度の分布は、時間的にも空間的にも正規型の分布より左側（低濃度側）にかたよった型になることが多く、次のような理由から正規型ではなく対数正規型の分布に近いことが予測される。 a) 環境中有害物質の濃度は広い範囲にわたって分布し、最低値と最高値の比はしばしば100倍から1000倍にもなることがある。 b) 濃度は物理的に負の値にはなり得ない。 c) 測定値の変動の大きさは測定された濃度の程度の広がりをもってしている。 d) 飛び離れた非常に大きな値の得られる確率は、あまり大きなものではない。</td> </tr> <tr> <td>2 [32]</td> <td>食品の消費の方も、カドミウムの濃度分布の方も、モデル化というものをしております。実際にある数字を使うのではなく、それこそとんでもなく高い濃度というのはどこで出るかわからないということを考えて、分布の尻尾に当たる方を非常に長くとするような、例えばもしも計算で間違っているのであれば、消費者の保護がより確保できるような方に間違う方がいいということで、対数正規分布というモデル化をしております。・・・(中略)・・・もちろん、ほかのいろいろな違う分布をやることもあります。今、世界では、対数正規分布というのが主に使われております。</td> </tr> </tbody> </table>	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		濃度分布を対数正規分布とした例	1 [31]	作業場内における有害物質の濃度の分布は、時間的にも空間的にも正規型の分布より左側（低濃度側）にかたよった型になることが多く、次のような理由から正規型ではなく対数正規型の分布に近いことが予測される。 a) 環境中有害物質の濃度は広い範囲にわたって分布し、最低値と最高値の比はしばしば100倍から1000倍にもなることがある。 b) 濃度は物理的に負の値にはなり得ない。 c) 測定値の変動の大きさは測定された濃度の程度の広がりをもってしている。 d) 飛び離れた非常に大きな値の得られる確率は、あまり大きなものではない。	2 [32]	食品の消費の方も、カドミウムの濃度分布の方も、モデル化というものをしております。実際にある数字を使うのではなく、それこそとんでもなく高い濃度というのはどこで出るかわからないということを考えて、分布の尻尾に当たる方を非常に長くとするような、例えばもしも計算で間違っているのであれば、消費者の保護がより確保できるような方に間違う方がいいということで、対数正規分布というモデル化をしております。・・・(中略)・・・もちろん、ほかのいろいろな違う分布をやることもあります。今、世界では、対数正規分布というのが主に使われております。	<p>値と仮定することは非保守的となる場合があります。ND 値のデータが多くあり、かつ、数点の検出データがあるのであれば、当該検出データを推定分散の検出最大値と仮定することは一定の合理性を持ちますが、実運用として、何点の ND 値があれば当該手法を適用可能と考えているのかを確認したものです。</p>	<p>「測定機器、測定時間、測定試料量及びバックグラウンド」を確認し、データ数を含めた妥当性を評価した例を提示してください。</p>		<p>の速さ)を計測)を想定した表現であり、元素分析に関するものではありませんでした。このため、「測定時間、測定試料量及びバックグラウンド」は、元素分析においては検出下限には関与しません。</p> <p>上記を踏まえて修正した回答を以下に示します。</p> <p>試料は、実機の製造工場にて、実際の機器に用いる構造材料を切り出してサンプリングしています。</p> <p>また、元素分析の測定機器（分析装置）は、測定対象の元素に合わせて適用します。以下の分析装置は、国内の分析メーカーにおいても、検出感度の高い定量分析に適用されている一般的な分析装置です。</p> <ul style="list-style-type: none"> Th, U, Co., Nb, Mo 等：誘導結合プラズマ発光分光分析 (ICP-AES)、誘導結合プラズマ質量分析 (ICP-MS) 試料を切断後、洗浄、分取、酸溶解、定容等の操作を行った後に、溶液中の元素を定量する分析装置 Cl 等：グロー放電質量分析 GD-MS 固体試料を放電によりイオン化させイオン量を測定する分析装置 <p>また、測定試料量は、分析装置毎で設置できる試料量の上限があり、それを考慮して決まります。例えば、</p> <ul style="list-style-type: none"> ICP-AES の場合：1 g 前後を溶解した溶液を使用 GD-MS の場合：2 mm×2 mm×20 mm 角柱試料を固体のまま装置に装着 GD-MS では、決められた量の試料を分析装置内の試料フォルダーに設置して測定する方法で、分析に使用する試料量は検出下限値に起因しません。 <p>なお、核種分析は測定時間の間に崩壊して放出される放射線を測定しますが、元素分析は単に当該元素の質量を測定する方法です。そのため、元素分析においては、測定時間とバックグラウンド（自然放射線の影響）は分析精度に影響しません。</p> <p>分析装置を用いる場合でもバックグラウンド補正（ノイズの除去、自然放射線の影響除去ではない）を行います。この補正は、試料を用いずに溶解等の同一の試料調製の操作をして、試薬等のブランク値を求めることで行っています。</p> <p>さらに、元素分析の分析値（定量値）は、事前に標準試料（市販されている既知濃度の試薬）を測定して検量線を作成した上で取得します。</p> <p>（Ⅱ 何点の ND 値があれば当該手法を適用可能と考えて</p>
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																							
	濃度分布を対数正規分布とした例																									
1 [31]	作業場内における有害物質の濃度の分布は、時間的にも空間的にも正規型の分布より左側（低濃度側）にかたよった型になることが多く、次のような理由から正規型ではなく対数正規型の分布に近いことが予測される。 a) 環境中有害物質の濃度は広い範囲にわたって分布し、最低値と最高値の比はしばしば100倍から1000倍にもなることがある。 b) 濃度は物理的に負の値にはなり得ない。 c) 測定値の変動の大きさは測定された濃度の程度の広がりをもってしている。 d) 飛び離れた非常に大きな値の得られる確率は、あまり大きなものではない。																									
2 [32]	食品の消費の方も、カドミウムの濃度分布の方も、モデル化というものをしております。実際にある数字を使うのではなく、それこそとんでもなく高い濃度というのはどこで出るかわからないということを考えて、分布の尻尾に当たる方を非常に長くとするような、例えばもしも計算で間違っているのであれば、消費者の保護がより確保できるような方に間違う方がいいということで、対数正規分布というモデル化をしております。・・・(中略)・・・もちろん、ほかのいろいろな違う分布をやることもあります。今、世界では、対数正規分布というのが主に使われております。																									

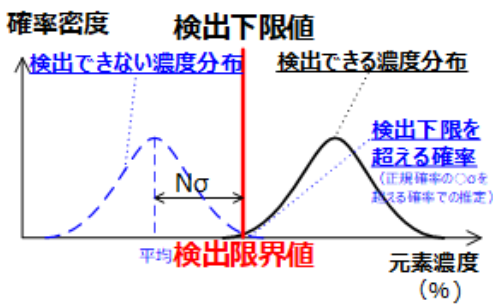
中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム
第2回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容								
	<p>3 [33] 一般に環境中の化学物質の分布は対数正規分布で表すことができるため、・・・(以下、省略)。</p> <p>4 [34] 兵庫県下の陸水試料や環境調査としての毛髪試料を精力的に分析した。特に、毛髪試料では分析法の確立を図りながら非汚染地域の多数の試料を分析し、約 20 元素を定量し、元素ごとの特徴を明らかにした。すなわち、必須元素は正規分布に、非必須元素は対数正規分布になり、これらの中央値又は幾何平均値が環境試料中の元素濃度の取扱いに有効であることを示した。</p> <p>5 [35] 河川水中の微量元素の濃度分析 全国 55 の河川から集めた 77 試料について希土類元素、トリウム及びウランウム（16 元素）の濃度の平均値と範囲が明らかにされた。対象としたすべての元素濃度は非常に低く、高くても 100 ppt レベル、低い場合には、1 ppt 以下となった。各元素の濃度幅は非常に広く 3 桁程度の広がりを示した（津村，1991）。わが国の陸水試料約 80 点について超微量元素 38 種類を分析した結果、各元素とも濃度範囲は非常に広く頻度分布は対数正規分布をすることが分かった。</p> <p>6 [36] 一般に金属鉱床では、地球化学的な元素の含量の分布の型は対数正規分布ないしは、二項分布に近い分布をするといわれているが、中津河鉱床の探鉱坑道におけるように、比較的狭い範囲から相当多数の新鮮な試料が得られた場合に限って統計すると、ウランは二項分布型、トリウムは対数正規分布型を示す。</p> <p>7 [37] 元素の地殻中の品位（濃度）分布は、L. H. Ahrens によれば対数正規分布で、その最多量値は平均地殻存在度の付近にあって、鉱石品位領域では Lasky 法則に従うと論じた。</p> <p>8 [38] Geology and mining. In the Earth's crust, the concentration of elements and their radioactivity usually follow a log-normal distribution. Environment. The distribution of particles, chemicals, and organisms in the environment is often log-normal.</p> <p>9 [39] Frequency distribution plots of K, Rb, Sc, V, Co, Ga, Cr, and Zr in Ontario diabase, Sc, V, Ga, Cr, La, and Zr in Canadian granite, K, Rb, and Cs in New England granite and F and Mo in granite from various localities are regular, but assume decided positive skewness when dispersion is large, hence, distribution of concentration is not normal. All distributions become normal, or nearly so, provided the variate (concentration of an element) is transformed to log concentration: this leads to a statement of a fundamental (lognormal) law concerning the nature of the distribution of the concentration of an element in specific igneous rocks.</p> <p>【出典】 [31] “労働衛生管理とデザイン・サンプリングの実務”，日本作業環境測定協会 [32] 食品に関するリスクコミュニケーション[カドミウムに関する意見交換会（第2回）] 農林水産省消費・安全局（2004年6月9日） [33] 詳細リスク評価書 鉛 暫定版，独立行政法人産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター</p>				<p>いるのか） 標準では、必要総分析数は示していません。ただし、検出限界値以下の濃度領域で検出できない元素濃度分布を設定して評価する場合に、その濃度分布の領域を把握するために、必要と考えられる化学分析数につきましては、標準には示していませんが、例えば、表 14(1)-1 に示します考え方が適用できるものと考えます。</p> <p>表 14(1)-1 検出下限値を含む分析における必要データ数</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>前提条件</th> <th>確率的に設定する。</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>検出できない濃度分布などの設定の模式図</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>必要データ数の設定の考え方</td> <td>上図のように、検出下限の値（検出できない濃度分布の平均+標準偏差 $N\sigma$^{注1}の位置）を超える領域にある数量（例えば、平均値+$N\sigma$ 超となる領域での分析データ数が1点と仮定）から母集団の数量を正規確率（例 2σ を超える確率：2.3%）によって評価する。</td> </tr> <tr> <td>必要データ数の評価結果^{注3}</td> <td>推定する平均値の位置を検出下限値から 1σ の位置とする場合： 7点 推定する平均値の位置を検出下限値から 2σ の位置とする場合： 44点</td> </tr> </tbody> </table> <p>注1 「$N\sigma$」とは、標準偏差の 1σ、2σ、3σ の数値の意味 ($N=1, 2, 3$) 注2 「推定する平均値の位置」とは、検出下限から低い濃度領域で分布を設定する際に適用する検出下限から $N\sigma$ の標準偏差を加味した位置で決定する平均値の意味。 注3 具体的には、検出下限値を超えるデータ数が1点未満となる条件を想定し、 <u>推定する平均値の位置を検出下限値から 1σ の位置とする場合：正規分布で検出下限値を超えるデータ数が最少の1点未満となるためには、分布の平均値から $\pm 1\sigma$ (68.3%) の範囲の上側（検出下限値を超える）にある領域のデータの存在確率（上側領域の存在確率は 15.8%以下とする）である条件で考えると、総データ数は7点(6.3点以上)が必要である。</u> <u>推定する平均値の位置を検出下限値から 2σ の</u></p>	前提条件	確率的に設定する。	検出できない濃度分布などの設定の模式図		必要データ数の設定の考え方	上図のように、検出下限の値（検出できない濃度分布の平均+標準偏差 $N\sigma$ ^{注1} の位置）を超える領域にある数量（例えば、平均値+ $N\sigma$ 超となる領域での分析データ数が1点と仮定）から母集団の数量を正規確率（例 2σ を超える確率：2.3%）によって評価する。	必要データ数の評価結果 ^{注3}	推定する平均値の位置を検出下限値から 1σ の位置とする場合： 7点 推定する平均値の位置を検出下限値から 2σ の位置とする場合： 44点
前提条件	確率的に設定する。												
検出できない濃度分布などの設定の模式図													
必要データ数の設定の考え方	上図のように、検出下限の値（検出できない濃度分布の平均+標準偏差 $N\sigma$ ^{注1} の位置）を超える領域にある数量（例えば、平均値+ $N\sigma$ 超となる領域での分析データ数が1点と仮定）から母集団の数量を正規確率（例 2σ を超える確率：2.3%）によって評価する。												
必要データ数の評価結果 ^{注3}	推定する平均値の位置を検出下限値から 1σ の位置とする場合： 7点 推定する平均値の位置を検出下限値から 2σ の位置とする場合： 44点												

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																																				
	<p>[34] 辻治雄, 2002 年度日本分析化学会 学会功労賞受賞者[業績], ぶんせき, (2002. 9)</p> <p>[35] 農業環境研究, この国の 20 年, (3) 化学物質の動態と生物影響, 農業と環境, No. 48 (2004. 4. 1)</p> <p>[36] ガンマ線の波高分析による人形峠地域などの花崗岩質岩石の天然放射性元素の分析, 地質調査所月報, Vol. 18, No. 9</p> <p>[37] 関根良弘, “鉱物資源の量的評価と元素の地殻存在度”, (1986)</p> <p>[38] Log-normal Distributions across the Sciences: Keys and Clues, <i>BioScience</i>, Vol. 51, No. 5, (2001)</p> <p>[39] L.H. AHRENS, The lognormal distribution of the elements (A Fundamental Law of Geochemistry and its subsidiary), <i>Geochimica and Cosmochimica Acta</i>, Vol. 5 (1953)</p> <p>なお、元素濃度の分析による検出下限値は、測定機器、測定時間、測定試料量、バックグラウンドなどによって決まるものですので、分析データ数に依存することは低いと考えられます。</p> <p>また、理論計算による放射能濃度の評価結果に検出下限値が直結しますので、事業者はできる限り検出下限を下げの努力を払うことが想定されますし、実際に、元素分析に適用している測定機器も次のような高性能な機器を適用して測定しており、その測定結果として得られた検出下限も、海外での分析事例よりも低濃度での検出下限となっています。</p> <p>これらのことを勘案すると、検出下限の妥当性の確認は実際に検出下限を決定する運用段階で、実際に適用した「測定機器、測定時間、測定試料量及びバックグラウンド」を確認し、データ数を含めた妥当性を評価することが適切であると考えます。</p> <p>ICP-AES：誘導結合プラズマ発光分光分析 ICP-MS：誘導結合プラズマ質量分析 GD-MS：グロー放電質量分析</p> <p>SUS304 に関する化学分析において全て検出下限値となっている主な元素の情報</p> <table border="1" data-bbox="483 1381 1374 1845"> <thead> <tr> <th>元素</th> <th>生成核種</th> <th>分析法</th> <th>分析数</th> <th>検出下限値 (平均)</th> <th>NUREG /CR3474 (SUS)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>Cl-36</td> <td>蛍光 X 線分析法 GD-MS</td> <td>9</td> <td>7.3×10^{-4} wt%</td> <td>7.0×10^{-3} wt%</td> </tr> <tr> <td>Th</td> <td>Sr-90 Tc-99</td> <td>ICP- MS</td> <td>9</td> <td>5.0×10^{-7} wt%</td> <td>1.0×10^{-4} wt%</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>I-129 Cs-137 α 核種</td> <td>ICP- MS</td> <td>9</td> <td>5.0×10^{-7} wt%</td> <td>2.0×10^{-4} wt%</td> </tr> <tr> <td>Co¹⁾</td> <td>Co-60 Ni-63</td> <td>ICP- MS</td> <td>21</td> <td>7.6×10^{-4} wt%</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Nb¹⁾</td> <td>Nb-94</td> <td>ICP-MS</td> <td>21</td> <td>3.9×10^{-3} wt%</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table>	元素	生成核種	分析法	分析数	検出下限値 (平均)	NUREG /CR3474 (SUS)	Cl	Cl-36	蛍光 X 線分析法 GD-MS	9	7.3×10^{-4} wt%	7.0×10^{-3} wt%	Th	Sr-90 Tc-99	ICP- MS	9	5.0×10^{-7} wt%	1.0×10^{-4} wt%	U	I-129 Cs-137 α 核種	ICP- MS	9	5.0×10^{-7} wt%	2.0×10^{-4} wt%	Co ¹⁾	Co-60 Ni-63	ICP- MS	21	7.6×10^{-4} wt%	—	Nb ¹⁾	Nb-94	ICP-MS	21	3.9×10^{-3} wt%	—				<p>位置とする場合：正規分布で検出下限値を超えるデータ数が最少の1点未満となるためには、分布の平均値から$\pm 2\sigma$ (95.4%) の範囲の上側（検出下限値を超える）にある領域のデータの存在確率（上側領域の存在確率は2.3%以下とする）である条件で考えると、総データ数は44点（43.5点以上）が必要である。</p> 
元素	生成核種	分析法	分析数	検出下限値 (平均)	NUREG /CR3474 (SUS)																																				
Cl	Cl-36	蛍光 X 線分析法 GD-MS	9	7.3×10^{-4} wt%	7.0×10^{-3} wt%																																				
Th	Sr-90 Tc-99	ICP- MS	9	5.0×10^{-7} wt%	1.0×10^{-4} wt%																																				
U	I-129 Cs-137 α 核種	ICP- MS	9	5.0×10^{-7} wt%	2.0×10^{-4} wt%																																				
Co ¹⁾	Co-60 Ni-63	ICP- MS	21	7.6×10^{-4} wt%	—																																				
Nb ¹⁾	Nb-94	ICP-MS	21	3.9×10^{-3} wt%	—																																				

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社) 日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																																																						
	<table border="1"> <tr> <td>Mo¹⁾</td> <td>Tc-99</td> <td>ICP- MS ICP-AES</td> <td>21</td> <td>7.6×10⁻⁴ wt%</td> <td>—</td> </tr> </table> <p>出典 放射化金属の放射能濃度評価における照射材料中の微量元素データに関する検討について、日本原子力発電、2010年8月（附属書G 参考文献）</p> <p>注記 GD-MS：グロー放電質量分析、ICP-AES：誘導結合プラズマ発光分光分析、ICP-MS：誘導結合プラズマ質量分析</p> <p>注1 参考までに、ジルカロイ4のND値を示す。</p> <table border="1"> <tr> <td>分析法</td> <td>ICP-AES 高周波誘導結合プラズマ 発光分析法</td> <td>ICP-MS 高周波誘導結合プラズマ 質量分析</td> </tr> <tr> <td>分析方法の概要</td> <td colspan="2">溶体化された試料をネブライザーで霧化し誘導プラズマ現象を利用し、試料をプラズマ化させる分析原理までは共通。 プラズマ内で励起された元素から放出される光波長と強度から濃度分析を行う。</td> </tr> <tr> <td>一般的検出下限</td> <td>ppm オーダー</td> <td>ppb オーダー</td> </tr> <tr> <td>適用先</td> <td>主成分、不純物成分に向く</td> <td>微量成分に向く</td> </tr> <tr> <td>短所</td> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> ・ 固体試料である場合、溶体化する必要がある。 ・ 固体試料の分解・希釈により分析精度が大きく左右される。 ・ 同位体分析が出来ない。 </td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子量が80以下の元素は、Ar及び主成分由来の分子イオンの質量干渉を受けやすい。 </td> </tr> </table> <p>(参考) Uの検出下限に関する文献調査の結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>元素</th> <th>対象</th> <th>分析方法</th> <th>分析数^{a)}</th> <th>分析結果^{b)}</th> <th>出典</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U</td> <td>コールド材</td> <td>ICP- MS</td> <td>9 (9)</td> <td>ND (5.0×10⁻⁷ wt%)</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>管理区域内の機器、部品</td> <td>ICP-MS</td> <td>6 (6)</td> <td>ND (5.0×10⁻⁶ wt%)</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>非管理区域内の機器、部品</td> <td>GD-MS</td> <td>22 (22)</td> <td>ND (5.0×10⁻⁷ wt%)</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>コールド材、発電所材</td> <td>—</td> <td>8 (8)</td> <td>ND (3.0×10⁻⁴ wt%)</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記 GD-MS：グロー放電質量分析、ICP-AES：誘導結合プラズマ発光分光分析、ICP-MS：誘導結合プラズマ質量分析</p> <p>注 a) () 内はND数 注 b) () 内はND値の平均値</p> <p>出典 [1] 放射化金属の放射能濃度評価における照射材料中の微量元素データに関する検討について、日本原子力発電、2010年8月（附属書G 参考文献） [2] 「ふげん」発電所の主要構造材元素組成分析、日本原子力学会和文論文誌, Vol. 9, No. 4, p. 405・418 (2010) [3] NUREG_CR-3474, Long-Lived Activation Products in Reactor Materials, U. S. Nuclear Regulatory Commission</p>	Mo ¹⁾	Tc-99	ICP- MS ICP-AES	21	7.6×10 ⁻⁴ wt%	—	分析法	ICP-AES 高周波誘導結合プラズマ 発光分析法	ICP-MS 高周波誘導結合プラズマ 質量分析	分析方法の概要	溶体化された試料をネブライザーで霧化し誘導プラズマ現象を利用し、試料をプラズマ化させる分析原理までは共通。 プラズマ内で励起された元素から放出される光波長と強度から濃度分析を行う。		一般的検出下限	ppm オーダー	ppb オーダー	適用先	主成分、不純物成分に向く	微量成分に向く	短所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固体試料である場合、溶体化する必要がある。 ・ 固体試料の分解・希釈により分析精度が大きく左右される。 ・ 同位体分析が出来ない。 				<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子量が80以下の元素は、Ar及び主成分由来の分子イオンの質量干渉を受けやすい。 	元素	対象	分析方法	分析数 ^{a)}	分析結果 ^{b)}	出典	U	コールド材	ICP- MS	9 (9)	ND (5.0×10 ⁻⁷ wt%)	1	U	管理区域内の機器、部品	ICP-MS	6 (6)	ND (5.0×10 ⁻⁶ wt%)	2	U	非管理区域内の機器、部品	GD-MS	22 (22)	ND (5.0×10 ⁻⁷ wt%)	2	U	コールド材、発電所材	—	8 (8)	ND (3.0×10 ⁻⁴ wt%)	3				
Mo ¹⁾	Tc-99	ICP- MS ICP-AES	21	7.6×10 ⁻⁴ wt%	—																																																						
分析法	ICP-AES 高周波誘導結合プラズマ 発光分析法	ICP-MS 高周波誘導結合プラズマ 質量分析																																																									
分析方法の概要	溶体化された試料をネブライザーで霧化し誘導プラズマ現象を利用し、試料をプラズマ化させる分析原理までは共通。 プラズマ内で励起された元素から放出される光波長と強度から濃度分析を行う。																																																										
一般的検出下限	ppm オーダー	ppb オーダー																																																									
適用先	主成分、不純物成分に向く	微量成分に向く																																																									
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固体試料である場合、溶体化する必要がある。 ・ 固体試料の分解・希釈により分析精度が大きく左右される。 ・ 同位体分析が出来ない。 																																																										
		<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子量が80以下の元素は、Ar及び主成分由来の分子イオンの質量干渉を受けやすい。 																																																									
元素	対象	分析方法	分析数 ^{a)}	分析結果 ^{b)}	出典																																																						
U	コールド材	ICP- MS	9 (9)	ND (5.0×10 ⁻⁷ wt%)	1																																																						
U	管理区域内の機器、部品	ICP-MS	6 (6)	ND (5.0×10 ⁻⁶ wt%)	2																																																						
U	非管理区域内の機器、部品	GD-MS	22 (22)	ND (5.0×10 ⁻⁷ wt%)	2																																																						
U	コールド材、発電所材	—	8 (8)	ND (3.0×10 ⁻⁴ wt%)	3																																																						

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容										
<p>（2）検出データが1点の場合に、元素濃度分布の標準偏差σをどのように求めるか説明してください。</p>	<p>起源元素の濃度を分析によって1, 2点程度しか検出できなかった場合は、実施したサンプリング分析の結果からでは、標準偏差を設定することができません。このため、「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」で設定する方法を適用します。</p> <p>（分布の設定方法について） 濃度分布の設定方法は、附属書Hに示しますように、「同一の元素又は化学的性質が類似した元素の分布」の収集方法及び評価方法を踏まえて設定しました「標準偏差」を適用します。 これを用いた濃度分布の設定は、図H.1に示すとおり、1, 2点の検出最大値を、濃度分布の上側限界値（例 上側限界値＝平均＋2σ（標準偏差）の濃度）とし、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（別途、文献値などによって収集した濃度分布）から“標準偏差”などの濃度分布条件を設定した上で、平均濃度を設定する方法を示しています。 なお、通常、推定される濃度の分布は、回答14(1)に示しましたように微量成分元素の分布は、対数正規分布と考えられますので、検出最大値以下の領域で検出最大値から約3σの位置を平均値とした分布で存在すると考えられます。これに対して、入力用の分布設定では、検出最大値から2σの位置を平均値とした分布で上側にスライドすることで、保守性を加味します。</p> <div data-bbox="676 982 1175 1260" data-label="Figure"> </div> <p>図H.1－検出困難元素の濃度分布評価の基本的な考え方 （設定分布と推定分布を比較し易いように青破線の実際の分布を加筆しています）</p> <p>（“標準偏差σ”の設定方法について） 標準では、附属書Dに示しますように、濃度分布の設定に必要な“平均値”、“標準偏差σ”を元素分析によって得られたデータ数量に応じて保守性を加味して設定する考え方を、下表のように示しています。</p> <table border="1" data-bbox="463 1577 1368 1906"> <thead> <tr> <th>取得検出データ数</th> <th>検出下限値のみ</th> <th>非常に少ない(1,2点の検出数)</th> <th>比較的少ない(3点以上十分未満)</th> <th>十分にある場合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均値</td> <td>①検出下限値で設定 ②検出下限値以下の領域で設定(下限値から2σの)</td> <td>①検出値で設定 ②検出値以下の領域で設定(検出値から2σの位置)</td> <td>平均値の信頼上限で設定</td> <td>得られた検出データの平均値で設定</td> </tr> </tbody> </table>	取得検出データ数	検出下限値のみ	非常に少ない(1,2点の検出数)	比較的少ない(3点以上十分未満)	十分にある場合	平均値	①検出下限値で設定 ②検出下限値以下の領域で設定(下限値から2σの)	①検出値で設定 ②検出値以下の領域で設定(検出値から2σの位置)	平均値の信頼上限で設定	得られた検出データの平均値で設定	-	<p>（「検出データが1点の場合、標準偏差σは算出できないので、「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」で設定する」との回答をいただきました。「化学的性質が類似」はどのように判断するのかについては、「第3回質問の補足」の「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」の質問10で追加質問しています。）</p>		
取得検出データ数	検出下限値のみ	非常に少ない(1,2点の検出数)	比較的少ない(3点以上十分未満)	十分にある場合											
平均値	①検出下限値で設定 ②検出下限値以下の領域で設定(下限値から2σの)	①検出値で設定 ②検出値以下の領域で設定(検出値から2σの位置)	平均値の信頼上限で設定	得られた検出データの平均値で設定											

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

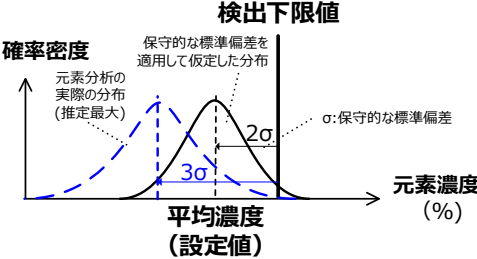
2022年6月3日
(一社) 日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）				質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容											
	標準偏差の適用の考え方	位置) ①ー ②同一の元素又は化学的性質が類似した元素の分布を踏まえて設定(信頼下限)	①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て設定(信頼上限) ②同左	得られた検出データの標準偏差の信頼上限で設定	得られた検出データの標準偏差で設定														
<p>注記 ①②は、各々の場合の平均値と標準偏差の適用の考え方において、それぞれ対比している。</p> <p>注記 「3点」は、統計値として標準偏差が計算できる最低数量。</p> <p>上記の“標準偏差”を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て設定する考え方は、収集、選定した元素濃度データを利用し、検出困難元素の標準偏差を評価上の保守性を踏まえた上で、信頼下限区間を考慮した標準偏差で設定します。この標準偏差の設定方法の例を、附属書Hの図H.3及び表H.1で示します。</p> <p>基本的には、図H.3に示すように、標準偏差をより小さく設定することで保守性を考慮することが出来ますが、表H.1に示すように、標準偏差のデータが示す正規性を評価することで99%信頼下限の標準偏差を適用できると考えます。</p> <div data-bbox="557 1150 1299 1512" style="text-align: center;"> </div> <p>図H.3ー平均的な標準偏差の設定方法のイメージ図（例）</p> <p>注記 上記の標準偏差の分布は、文献などから収集した検出された元素濃度データをデータ群（産地及び種類ごとに分類した元素濃度データのグループ）として分類し、各々のデータ群（例 C1では168のデータ群、1群は複数のデータを含む）で標準偏差を計算した結果をヒストグラムで表示するイメージを示す。</p> <p style="text-align: center;">表H.1ー検出困難元素の平均的な標準偏差の設定方法の例</p> <table border="1" data-bbox="463 1780 1371 1860" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="width: 15%;">設定方法</th> <th rowspan="2" style="width: 15%;">概要</th> <th colspan="2" style="width: 70%;">特徴</th> </tr> <tr> <th style="width: 35%;">長所</th> <th style="width: 35%;">短所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>										設定方法	概要	特徴		長所	短所				
設定方法	概要	特徴																	
		長所	短所																

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社) 日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）				質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
	<p>平均値</p>	<p>各データ群の標準偏差の平均値を適用する方法。</p>	<p>平均的な設定が可能。</p>	<p>放射能評価上では必ずしも保守的な評価とはいえない（特に分布のばらつきが大きい場合など）。</p>				
	<p>99%信頼下限値</p>	<p>各データ群の標準偏差の分布形状から、標準偏差の平均値の信頼区間（99%信頼区間の下限値）を算出し、これを設定値として適用する方法。</p>	<p>信頼性のある平均値として、データ数及びデータのばらつきの大きさも統計的に考慮される。</p>	<p>統計的な評価を行う前提として、標準偏差の分布形状に正規性が必要。</p>				
	<p>最小値</p>	<p>各データ群の標準偏差の最小値を適用する方法。</p>	<p>放射能評価上では、保守側の値が設定可能。</p>	<p>過度な保守性をもつ場合がある（特に分布のばらつきが大きい場合など）。</p>				
<p>15. 「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」において、推定分布の平均濃度（設定値）を N.D. 値の-2σに設定しています。 （1）この方法が適用できる検出下限値（以下「N.D. 値」という。）のデータ数が十分にありますが、そのデータ数を示してください。</p>	<p>回答 14(1)と同じ。</p>				<p>質問 14 と同様に、十分な数の ND 値のデータがあれば、推定分布はそれよりも下にあると考えることは合理的と考えられる。数点の ND 値からそれを推定分布の検出最大値と仮定することは非保守的となる場合が懸念されるために確認したものです。</p>	<p>「実際に適用した「測定機器、測定時間、測定試料量及びバックグラウンド」を確認し、データ数を含めた妥当性を評価することが適切であると考えます。」との回答をいただきました。 「測定機器、測定時間、測定試料量及びバックグラウンド」を確認し、データ数を含めた妥当性を評価した例を提示してください。</p>	<p>回答可能</p>	<p>データ数に関しては、回答 14(1) II を参照願います。</p>
<p>（2）N.D. 値を平均濃度として用いるのではなく、それよりも2σ低い値を平均濃度として用いることができる理由を説明してください。</p>	<p>検出下限値をそのまま平均濃度として用いる方法が、第 1 の適用方法として考えられますが、この方法を適用した場合で、保守性が大きくなりすぎる時は、回答 14(2)に示す考え方を適用して、下図に示しますように、検出下限値より低い領域にある濃度分布を想定し、保守的に検出下限値より2σ低い値を平均濃度として用いる方法を示しています。</p>				<p>ND 値のみであった場合、それを単純に推定分布の平均値として設定するのではなく、わざわざ2σ低い値を平均濃度とする理由を確認したものです。「過度な保守</p>	<p>「検出下限値をそのまま平均濃度として用いる方法が、第 1 の適用方法として考えられます」との回答をいただきましたが、その場合、標準偏差σはどのように算出するのか説明してください。</p>	<p>回答可能</p>	<p>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うち、標準偏差は、実施したサンプリング分析の結果からでは、標準偏差を設定することができません。 このため、回答 14(2)に示したように、「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」で設定する方法を適用します。 なお、検出下限値しかない元素の実際の元素濃度分布は、検出下限値以下の濃度領域で分布しておりますので、検出下限値を平均値として設定する保守的な方法だけで</p>

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容						
	 <p>表 D.6 例 3 検出下限値以下で分布を設定する場合のイメージ (設定分布と推定分布を比較し易いように青破線の実際の推定分布を加筆しています)</p> <p>上図に示す推定される実際の分布（青破線）より高い濃度領域に入力用設定分布（黒実線）を仮定して、この分布に保守性を持たせるために、平均濃度の設定位置（通常、正規分布を示す場合は検出下限値から 3σ の位置に平均濃度があると想定されます）を、検出下限値から 2σ の位置を平均値としてより高い濃度側に分布を設定することとしています。</p> <p>さらに、適用する“標準偏差 σ”も保守性を持たせるように、分布範囲を狭く設定するために、標準偏差の信頼下限値を適用する考え方を示しています。これらによって、上側にスライドすることでの保守性を加味しています。</p>	<p>性を避けるため」といった回答を期待したのではなく、なぜ 2σ 低い値としてよいのか、その理由を確認したものです。</p>			<p>なく、真の分布に近い分布（回答 15(2)に示しました表 D.6 例 3 のイメージを参照ください）での評価を行うことが可能であると考えています。</p> <p>このため、検出値が得られなかった場合は、少なくとも平均値は検出下限値より低くなるはずで、かつ、確率分布に正規分布を仮定すれば、最も高い領域での分布は、検出下限値から 3σ 低い値を平均濃度とする分布と考えられます。</p> <p>したがって、全て ND であれば、平均値は検出下限より 3σ 以上低いと統計的に推定できます。</p> <p>しかしながら、平均値の設定に保守性を加える形で 3σ でなく余裕を見て 2σ を適用したものです。</p> <p>なお、分布の設定に必要なデータ数については、標準では濃度分布の設定方法は、附属書 D の表 D.6 に示しますように、分析数に応じた保守性を考慮することにしており、この分析数に関しては、回答 14(1)II を参照ください。</p> <p>（分布の設定方法について） 濃度分布の設定方法は、附属書 H に示しますように、「同一の元素又は化学的性質が類似した元素の分布」の収集方法、適用条件及び評価方法を踏まえて設定しました「標準偏差」を適用します。</p> <p>（分布の設定に必要な分析数について） 標準では、濃度分布の設定方法は、附属書 D の表 D.6 に示しますように、分析数に応じた保守性を考慮することにしております。 この分析数に関しては、回答 14(1)II を参照ください。</p> <p>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（抜粋）</p> <table border="1" data-bbox="2184 1381 2858 1896"> <thead> <tr> <th>方法</th> <th>方法の概要</th> <th>保守性の考慮</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>検出下限値以下で、元素の濃度分布を仮定する方法</td> <td>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。</td> <td>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 $+2\sigma$ 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</td> </tr> </tbody> </table>	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。	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 $+2\sigma$ 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
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。	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 $+2\sigma$ 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									

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	原子力学会回答（資料 2-1-1）	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容		
					<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"> 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）。 </td> </tr> </table>		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）。
	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>（3）濃度分布の標準偏差σとして、「同一の元素又は化学的性質が類似した元素の分布を評価して適用」とありますが、具体的にどのように求めるのか説明してください。</p>	<p>回答 14(2)を参照願います。 検出値が1, 2点あった場合の標準偏差の設定方法と同じです。</p>	-	<p>- （「検出データが1点の場合、標準偏差σは算出できないので、「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」で設定する」との回答をいただきました。 「化学的性質が類似」はどのように判断するのかについては、「第3回質問の補足」の「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」の質問10で追加質問しています。）</p>				
<p>16. 「D.5.2 中性子フルエンス率などの設定方法」 「b) 代表条件を設定する方法」の例2において、中性子輸送計算コードの例として MCNP が挙げられています。他のモンテカルロシミュレーションコード、例えば、国産の PHITS を用いる場合にどのような手順になるのかを説明してください</p>	<p>PHITS 使用する場合についても、MCNP と同じ手順になるものと考えます。</p>	-	<p>- （「第3回質問の補足」の「はじめに」で説明してもらったことにしましたので、追加の質問はありません。）</p>				

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
〇はじめに				
放射能濃度決定標準の規定内容を具体的に理解するために、同じ評価対象物（例えば、チャンネルボックス）に対して、①点推定法、②濃度比法、③換算係数法及び④濃度分布評価法を用いて、最大放射能濃度を算出した例を、下表の内容が分かるよう示して下さい。			一部回答作成	別紙1「最大放射能濃度の計算の手順の比較（チャンネルボックス）」を参照下さい。
規定	説明して欲しい内容			
6.1.2.2 元素成分条件	—			
6.1.2.2.1 起源元素の選定方法	どのように起源元素を選定したか その結果、どの起源元素を選定したか スクリーニングをした場合、その理由とスクリーニングの内容			
6.1.2.2.2 起源元素の元素成分データの収集方法	3つの方法のうちどの方法で収集したか その方法を選んだ理由			
6.1.2.2.3 起源元素の成分条件の設定方法	3つの方法のうちどの方法で設定したか その方法を選んだ理由			
6.1.2.3 中性子条件	—			
a) 中性子フルエンス率・中性子スペクトル	使用した中性子輸送コードの種類 そのコードを選んだ理由 中性子フルエンス率、中性子スペクトルの設定に至るまでの考え方、設定の判断方法、根拠			
b) 放射化断面積	2つの方法のうちいずれの方法で放射化断面先を作成したのか その方法を選んだ理由			
6.1.2.4 照射条件	a)とb)のいずれを選定したか その方法を選んだ理由 各方法において、照射条件を設定する場合の適切性を判断する理由（判断方法）は、同様に保守性を判断できる理由			
6.1.3 放射化計算	—			
6.1.3.1 放射化計算方法	なぜ、その放射化計算方法を選んだのか			
6.1.3.2 計算入力条件の設定	放射化計算の入力パラメータ及び条件 区間推定法の場合、入力パラメータ及び条件をランダムに抽出するか 又は適切な代表条件を設定するかどちらか その方法を選んだ理由			
6.1.3.3 放射化計算の計算数の設定	—			
6.1.3.3.1 点推定法	必要計算数 その数で妥当とした理由			
6.1.3.3.2 区間推定法	実施した計算数 その数で十分と判断した理由			
6.1.4 表面汚染の取扱い	表面汚染を除染したか 除染した場合、除染が十分と判断した根拠 除染しない場合、表面に付着した放射性物質の放射能濃度の評価結果 理論計算法で決定した放射能濃度に加えなかった場合、その理由			
6.3.1 理論的方法の妥当性確認	—			
6.3.1.1 妥当性確認の方法	放射化計算方法及び計算手順が期待される結果を与えたか そのように判断した根拠 計算が、恒常的に、正確に実施できるか そのように判断した根拠			
6.3.1.2 不確かさの扱い	不確かさの評価方法と結果			
6.4 放射能濃度の評価における裕度	最大放射能濃度との比較に用いる推定放射能濃度の算出方法と結果 提示する評価精度値とその根拠			
〇「適用範囲と理論的方法の特徴」に関するもの				

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
<p>1. 「D.1.2 換算係数法」 (1)換算係数法は、炉心内での配置が変動するものも対象にしていますが、燃焼度（燃料集合体あたりの核分裂反応（熱出力）の積分値をウラン燃料重量で除した値）が同じでも中性子スペクトルが異なれば、放射化によって生成される核種量も異なります。炉心核的性能計算において、どのような場合に中性子スペクトルを同じものとみなすことができるか説明してください。</p>	<p>放射能濃度決定標準では、換算係数法の管理指標の例として「燃焼度」が挙げられていますが、質問のとおり、燃焼度が同じでも中性子スペクトルが異なれば、放射化によって生成する核種の量が異なります。 したがって、「燃焼度を管理指標としたときに放射化放射エネルギーを同一とみなすことができる中性子スペクトルの範囲」は、求める放射能濃度評価精度との関係でどのように設定するのか、また、炉型ごとに実際にどのようになっているのかについて質問したものです（炉型、出力によらず一定とみなせるのか。そうだとしたら技術的根拠をデータで示してほしい。）</p>	<p>第3回検討チーム会合の資料3-1-1では、以下のように回答されています。</p> <p><u>①炉心内での配置が変動する対象物に換算係数法を適用する場合の中性子条件は、附属書Jの表J.1に示すように、「移動及び中性子照射期間中による中性子フルエンス率・中性子スペクトルの変化に対し、評価対象廃棄物自身における平均的な中性子フルエンス率・中性子スペクトル分布を設定」するか、又は「評価対象廃棄物自身の全領域に一つの保守的な（放射能濃度評価結果が大きくなるような）代表値を設定」することになります。</u> <u>前者の設定の例として、附属書Jの表J.6に炉心内の配置の移動やフルエンス率・スペクトルの変動を考慮して設定したBWRチャンネルボックスの中性子条件を示しています。</u> <u>この中性子条件の設定は、附属書JのJ.2.2.2.1に示しており、炉心内の配置位置の移動を考慮して炉心平均の軸方向出力及びボイド率分布を算出し、それらを用いてチャンネルボックスの軸方向位置ごとに単位燃料集合体核特性計算コードによっ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設定します。</u></p> <p><u>②炉心内の中性子スペクトルは、炉心最外周では熱中性子に対する高速中性子、熱外中性子の比率が下がるため、同じ燃焼度でも最外周に配置したチャンネルボックスの放射化放射エネルギーは炉心中央部と比較して小さくなります。ただし炉心内の配置位置による中性子スペクトルの影響は附属書Gの図G.6～図G.7に示すとおり炉心中央部と最外周部で2倍以内であることから放射化放射エネルギーへの影響は小さく、炉心平均の中性子条件を適用することは問題ありません。</u></p> <p>ここで、①については、本標準の記載内容に関する説明であり、質問に対する回答がありません。 ②については、熱中性子フルエンス率と高速中性子フルエンス率或いは熱外中性子フルエンス率との比が2倍以内であるため炉心平均の中性子条件を適用することは問題ない、という説明ですが、「どのような場合に中性子スペクトルを同じものとみなすことができるか」という質問に対する回答がありません。</p> <p>以上を踏まえ、次に掲げる事項について、評価例等により説明して下さい。 ①中性子スペクトルの変動幅とそれに応じた放射化放射エネルギーの変動幅との定量的な関係</p>	<p>質問①：回答可能</p>	<p>ご指摘の①～⑥の事項につきまして、以下に回答します。</p> <p>①BWRにおける径方向の炉心配置位置の違いによる中性子スペクトルの変動幅は炉心中央平均の軸方向中性子スペクトルに対して、0.9倍～1.4倍（-10%～+40%）の範囲となります。この変動幅による放射化放射エネルギーの変動幅は-9%～+36%程度となります。評価結果の詳細については別紙2「換算係数法計算例（BWRチャンネルボックス）の中性子条件設定について」に示します。</p>

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
		<p>②最大放射能濃度評価（及び埋設総放射能評価）の観点から、許容される放射化放射能の変動幅、或いは変動幅の設定の方法。</p> <p>③熱中性子フルエンス率と高速中性フルエンス率或いは熱外中性子フルエンス率との比が2倍以内とした根拠）2倍が保守側に濃度を高く評価することを説明する際には、評価対象となりうるすべての生成核種の親元素の放射化断面積に関して、熱中性子のほうが熱外・高速中性子よりも大きいことを示してください。</p> <p>④上記②及び③を踏まえて、一定とみなすことのできる中性子スペクトルの範囲。</p> <p>⑤「表 J.6-BWR チャンネルボックスの評価条件（45GWd/t）」の熱群（FT）中性子スペクトルインデックス値は軸方向位置 1～2.4 において 0.64 で一定とする根拠。</p>	<p>質問②：現時点では定量的な変動幅を提示できない。</p> <p>質問③：想定している申請核種の起源元素に対する感度評価結果を提示。</p> <p>質問④：現時点では定量的な範囲を提示することができない。</p> <p>質問⑤：回答可能</p>	<p>②最大放射能濃度評価の観点からは、換算係数法を用いて計算を実施した事例はありませんが、中性子条件の設定手順としては、附属書 J 表 J.1 に示すように、<u>評価対象廃棄物自身の全領域に一つの保守的（放射能濃度評価結果が大きくなるような）代表値を設定します。</u> 総放射能評価の観点からは、区画別放射能の確認を受ける評価単位の設定によって許容される変動幅が異なってきます。具体的には区画ごとに放射性物質の種類ごとの埋設放射能が不確かさ（元素条件、中性子条件、照射条件、計算）を加味しても<u>申請書の放射能を超えないことの定量的な評価は、申請核種の特定や、埋設施設の区画毎の埋設運用方法を踏まえたうえで実施する必要があります。</u>このため、現時点では許容できる変動幅を提示することはできません。 なお、総放射能評価においては附属書 M.3.2 に示すように廃棄体個々の放射能濃度のばらつきは、平均放射能濃度を中心とした対称的な分布を示すことから、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考えています。BWR チャンネルボックスの平均放射能濃度の評価に炉心平均の中性子条件を適用することの妥当性については、別紙 2 のとおり炉心配置位置の違いによる放射化放射能の変動幅が十分小さいことを確認した上で適用しています。</p> <p>③前回の説明では、炉心配置位置の違いによるスペクトルの違い（フルエンス率の比）までにとどまっていたため、不十分な説明となっていました。<u>現在想定している申請核種の起源元素に対し、炉心配置位置の違いによるスペクトルの変動範囲に応じた放射化放射能の変動幅の評価結果は炉心平均の中性子条件で評価した結果に対して-9%～+36%となります。</u>詳細結果を別紙 2 に示します。<u>なお、想定している申請核種に変更がある場合には、同様な感度解析を実施し影響評価を実施したうえで、中性子条件を設定することになります。</u></p> <p>④最大放射能濃度の評価では、<u>評価対象廃棄物自身の全領域に一つの保守的（放射能濃度評価結果が大きくなるような）代表値を設定します。</u> 総放射能評価では、別紙 2 に示した手順で平均的な中性子条件の適用性を確認しますが、回答②にありますとおり、<u>申請核種の特定や埋設施設の区画毎の埋設運用方法を踏まえたうえで評価する必要があります。</u>現時点では一定とみなすことのできる中性子スペクトルの範囲を提示することはできません。</p> <p>⑤熱群（F_T）中性子スペクトルインデックスは熱中性子フルエンス率に対する比率ではなく、熱群スペクトル形状の温度補正に関するファクタであり、<u>当該領域の温度差は 10K 程度であり表 J.6 の注 b) の F_T の式に従うと 1% 以下の変動であるため、軸方向位置において一定としています。</u> 表 J.6 注 b)</p>

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
		<p>⑥ 「表 J. 6—BWR チャンネルボックスの評価条件 (45GWd/t)」と「図 G. 6—BWR チャンネルボックスでの高速中性子フルエンス率の熱中性子フルエンス率に対する比の例」を示しているが、その相互関係について。</p> <p>1) 「表 J. 6—BWR チャンネルボックスの評価条件 (45GWd/t)」の熱中性子フルエンス率と似たものが「図 G. 5—BWR チャンネルボックスでの熱中性子フルエンス率軸方向分布の例」(28GWd/tのもの)に示されています。しかし、燃焼度が1.6倍異なることを考慮して表 J. 6 の熱中性子フルエンス率の値を1.6で除しても10^{13}を下回るものではありませんが、図 G. 5 の軸方向位置24では最外周及び炉心中央部平均でも10^{13}を下回っています。その理由について。</p> <p>2) 図 G. 6 の縦軸（高速中性子フルエンス率/熱中性子フルエンス率）の値は、表 J. 6 の熱中性子フルエンス率に中性子スペクトルインデックスの「高速群 (FF)/熱群 (FT)」比を乗じたものと相関があるように見えません（図 G. 6 は右肩上がり、表 J. 6 だと軸方向位置 23、24 で下がる）。表 J. 6 と図 G. 6 の関係について。</p>	<p>質問⑥：回答可能</p>	<p>b)</p> $F_T = \sqrt{\frac{\pi T_0}{4 T}} \cdot F_R = \sum_{E_g \geq 0.625eV}^{E_g \leq 1.0MeV} \phi_g / \phi_{th} \cdot F_F = \sum_{E_g \geq 1.0MeV} \phi_g / \phi_{th}$ <p>ここに、</p> <ul style="list-style-type: none"> F_T : 熱中性子フルエンス率に対するスペクトルインデックス (THERM) F_R : 熱外中性子フルエンス率に対するスペクトルインデックス (RES) F_F : 高速中性子フルエンス率に対するスペクトルインデックス (FAST) E_g : g群のエネルギー (eV) T : 媒質の温度 (K) T_0 : 293.16 (K) ϕ_g : g群の中性子フルエンス率 (n/cm²/s) ϕ_{th} : 熱群の中性子フルエンス率 (n/cm²/s) <p>b)</p> $F_T = \sqrt{\frac{\pi T_0}{4 T}} \cdot F_R = \sum_{E_g \geq 0.625eV}^{E_g \leq 1.0MeV} \phi_g / \phi_{th} \cdot F_F = \sum_{E_g \geq 1.0MeV} \phi_g / \phi_{th}$ <p>ここに、</p> <ul style="list-style-type: none"> F_T : 熱中性子フルエンス率に対するスペクトルインデックス (THERM) F_R : 熱外中性子フルエンス率に対するスペクトルインデックス (RES) F_F : 高速中性子フルエンス率に対するスペクトルインデックス (FAST) E_g : g群のエネルギー (eV) T : 媒質の温度 (K) T_0 : 293.16 (K) ϕ_g : g群の中性子フルエンス率 (n/cm²/s) ϕ_{th} : 熱群の中性子フルエンス率 (n/cm²/s) <p>⑥表 J. 6 は換算係数法を用いる場合の計算例であり、管理指標として集合体平均燃焼度であるため、燃焼度変化に応じたノードごとに計算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。一方、図 G. 5 および図 G. 6 は特定の評価方法に限定しないときの計算例であり、代表燃料断面における中性子フルエンス率・中性子スペクトルを補正して設定しています。</p> <p>1) 上記のとおり異なる計算例であるため、表 J. 6 と図 G. 5 は整合していません。</p> <p>2) ノードごとの計算結果と代表燃料断面における計算結果の違いにより、表 J. 6 と図 G. 5 では軸方向出力およびボイド率で補正しているが天然ウランとなる23、24ノードで違いが生じています。</p> <p>前回の説明では、表 J. 6 の熱中性子フルエンス率と図 G. 6 および図 G. 7 の熱中性子フルエンス率に対する比が同一の評価条件ではないことの説明が十分ではありませんでした。なお、前回の説明内容は上の回答にもあるとおり回答が十分でなかったことから、換算係数法における中性子条件の設定については、あらためて別紙2で回答させていただきます。</p>
<p>(2) 附属書 J において軸方向の中性子スペクトルの違いが反映されていますが、径方向の違いがどのように反映されているかが示されていません。燃焼度が同じで、中性子スペクトルが異なる場合、放射化放射能濃度が同一とみなせる中性子スペクトルの範囲を説明してください。</p>	<p>「附属書 J (参考) 換算係数を用いる場合の計算例」の J. 2. 2. 2. 1a) では、中性子スペクトルを軸方向に考慮するとされています。一方、運転サイクルに応じて燃料集合体の配置が径方向に移動し、かつ、燃料集合体のローテーションにはばらつきがあり一定とならないことから、燃</p>	<p>上記とまとめました。</p>		

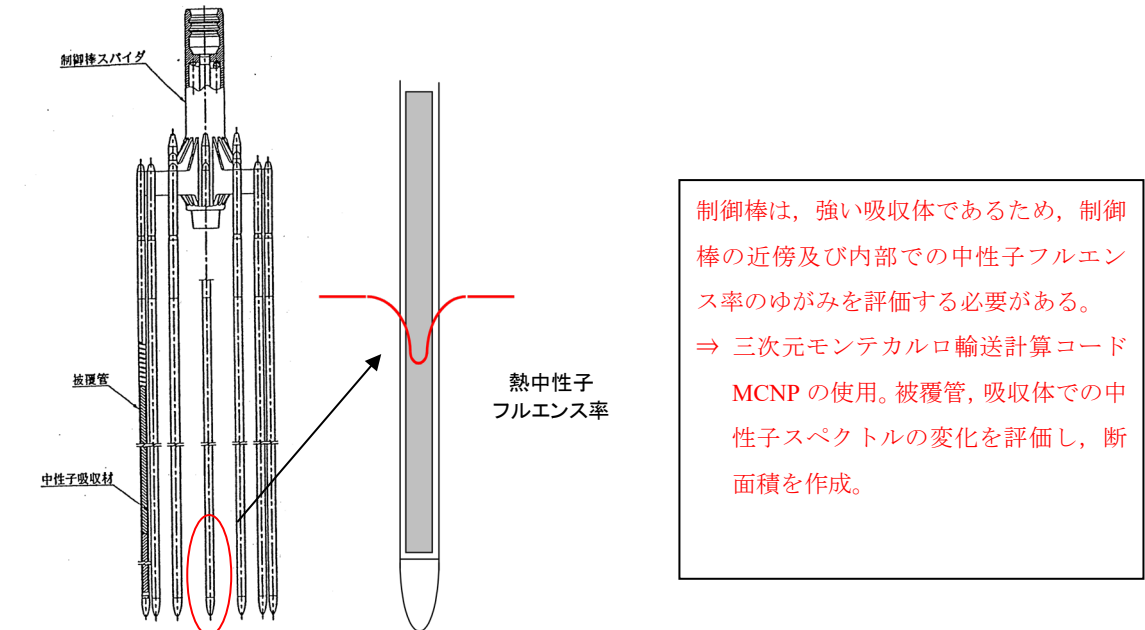
質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																																																																																		
	焼度が同じでも径方向における中性子スペクトルの変化を考慮しないと、換算係数法が成立しないと考えられることから、質問したものです。																																																																																					
2. 「D.1.3 濃度比法」の濃度比が一定となる条件について、中性子フルエンス率が同一であっても、中性子スペクトルが異なると放射化断面積が変化すると想定されます。中性子スペクトルが同一とみなせる範囲をどのように設定するのか説明してください。	濃度比を一定とする場合、中性子フルエンス率と中性子スペクトルが同一とみなせる範囲にあることが前提です。このため、「中性子スペクトルが同一とみなせる範囲」について質問したものです。	「同等とみなせる範囲については、中性子スペクトルの変化が大きくなる代表的な例として、附属書Bの図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）」の脚注b)に示す、影響の程度が“小：2～3倍程度以内の差異を生む”を参考とします。」とありますが、最終的な放射能濃度に対する影響がどの程度であるかを評価例等により示して下さい。	回答可能	<p>ご指摘を踏まえて第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p>本標準では、附属書Bの図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）」の脚注b)に示すように、放射能濃度の評価結果への影響が2～3倍程度以内の場合は、放射能濃度への影響が小さく、濃度比を一定とする場合の中性子スペクトルを同等とみなせるとしています。</p> <p>中性子スペクトルの変化が大きくなる代表的な例としては、附属書Bの図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）」において、評価上、保守側にAROバンクの放射化断面積を設定して評価した例が挙げられます。上記の事例における中性子フルエンス率を同一とした場合の中性子スペクトルの変化による放射化断面積の放射能濃度への影響を下表に示します。Dバンクに対するAROバンクの放射能濃度は、Co-60で2.1～2.2倍、Ni-63で3.2倍を示しています。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">項目</th> <th rowspan="2">-</th> <th colspan="8">各照射時間における放射能濃度（廃棄物1tあたり）(Bq)</th> </tr> <tr> <th>照射時間</th> <th>7.0D</th> <th>30.0D</th> <th>180.0D</th> <th>1.0YR</th> <th>2.0YR</th> <th>3.0YR</th> <th>4.0YR</th> <th>5.5YR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">AROバンク位置</td> <td>Co-60</td> <td></td> <td>4.0E+13</td> <td>1.7E+14</td> <td>9.8E+14</td> <td>1.9E+15</td> <td>3.5E+15</td> <td>4.8E+15</td> <td>5.9E+15</td> <td>7.2E+15</td> </tr> <tr> <td>Ni-63</td> <td></td> <td>1.3E+12</td> <td>5.6E+12</td> <td>3.4E+13</td> <td>6.8E+13</td> <td>1.3E+14</td> <td>2.0E+14</td> <td>2.6E+14</td> <td>3.5E+14</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Dバンク位置</td> <td>Co-60</td> <td></td> <td>1.8E+13</td> <td>7.7E+13</td> <td>4.5E+14</td> <td>8.8E+14</td> <td>1.6E+15</td> <td>2.3E+15</td> <td>2.8E+15</td> <td>3.5E+15</td> </tr> <tr> <td>Ni-63</td> <td></td> <td>4.1E+11</td> <td>1.8E+12</td> <td>1.1E+13</td> <td>2.1E+13</td> <td>4.2E+13</td> <td>6.2E+13</td> <td>8.3E+13</td> <td>1.1E+14</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">放射能濃度の比 (AROバンク/Dバンク)</td> <td>Co-60</td> <td></td> <td>2.2</td> <td>2.2</td> <td>2.2</td> <td>2.2</td> <td>2.2</td> <td>2.1</td> <td>2.1</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>Ni-63</td> <td></td> <td>3.2</td> <td>3.2</td> <td>3.2</td> <td>3.2</td> <td>3.2</td> <td>3.2</td> <td>3.2</td> <td>3.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>なお、中性子スペクトルが同等とみなせる範囲は、平均的な炉心条件における中性子輸送計算結果から、炉心の径方向及び軸方向の放射化金属等の内部の中性子スペクトルに関して横並びに比較して評価します。中性子スペクトルのうち、特に放射化反応が起こることが多い熱群に着目し、また評価対象核種に高速群で生成する核種がある場合には高速群にも着目して、スペクトルの割合を確認し、スペクトルが同等とみなせる放射化金属等の範囲を設定します。</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">解析結果 a)</div> </div> <p>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。</p>	項目	-	各照射時間における放射能濃度（廃棄物1tあたり）(Bq)								照射時間	7.0D	30.0D	180.0D	1.0YR	2.0YR	3.0YR	4.0YR	5.5YR	AROバンク位置	Co-60		4.0E+13	1.7E+14	9.8E+14	1.9E+15	3.5E+15	4.8E+15	5.9E+15	7.2E+15	Ni-63		1.3E+12	5.6E+12	3.4E+13	6.8E+13	1.3E+14	2.0E+14	2.6E+14	3.5E+14	Dバンク位置	Co-60		1.8E+13	7.7E+13	4.5E+14	8.8E+14	1.6E+15	2.3E+15	2.8E+15	3.5E+15	Ni-63		4.1E+11	1.8E+12	1.1E+13	2.1E+13	4.2E+13	6.2E+13	8.3E+13	1.1E+14	放射能濃度の比 (AROバンク/Dバンク)	Co-60		2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	Ni-63		3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
項目	-	各照射時間における放射能濃度（廃棄物1tあたり）(Bq)																																																																																				
		照射時間	7.0D	30.0D	180.0D	1.0YR	2.0YR	3.0YR	4.0YR	5.5YR																																																																												
AROバンク位置	Co-60		4.0E+13	1.7E+14	9.8E+14	1.9E+15	3.5E+15	4.8E+15	5.9E+15	7.2E+15																																																																												
	Ni-63		1.3E+12	5.6E+12	3.4E+13	6.8E+13	1.3E+14	2.0E+14	2.6E+14	3.5E+14																																																																												
Dバンク位置	Co-60		1.8E+13	7.7E+13	4.5E+14	8.8E+14	1.6E+15	2.3E+15	2.8E+15	3.5E+15																																																																												
	Ni-63		4.1E+11	1.8E+12	1.1E+13	2.1E+13	4.2E+13	6.2E+13	8.3E+13	1.1E+14																																																																												
放射能濃度の比 (AROバンク/Dバンク)	Co-60		2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1																																																																												
	Ni-63		3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2																																																																												

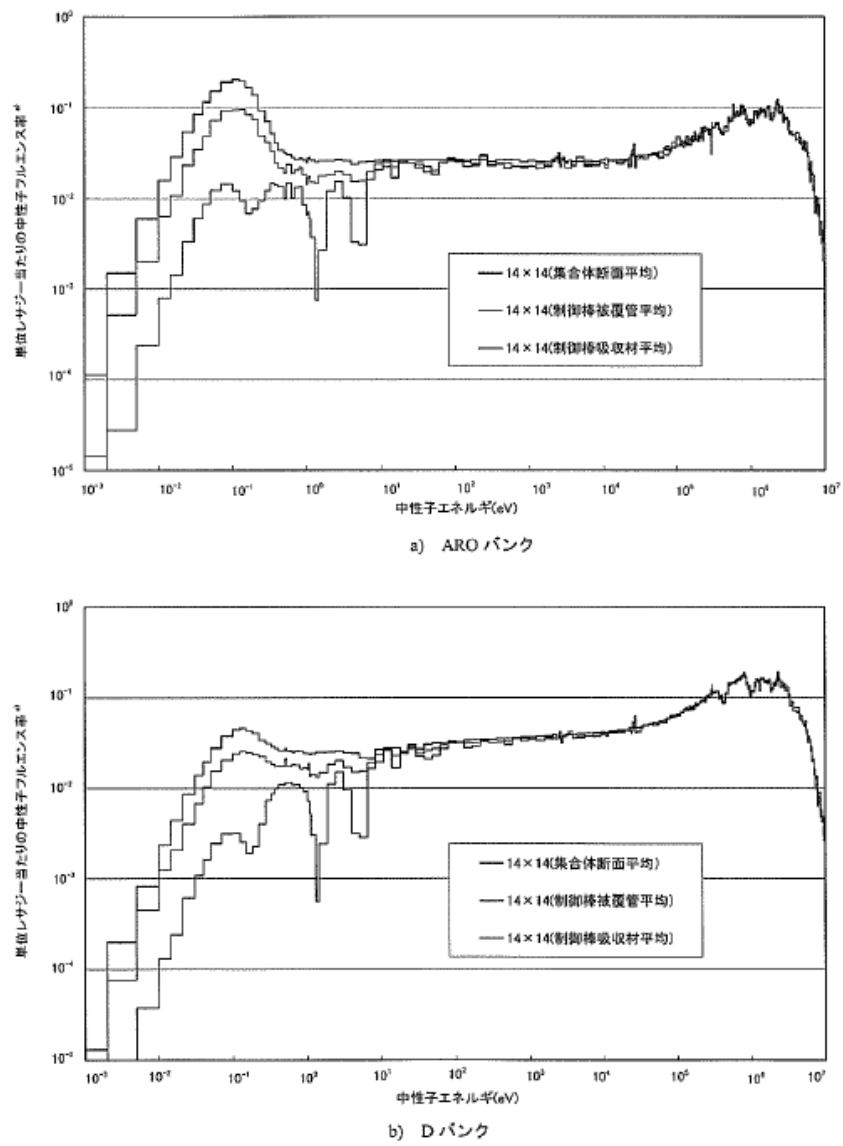
中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム
第3回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容						
				<table border="1" data-bbox="1872 302 2757 468"> <tr> <td data-bbox="1872 302 2041 373"></td> <td data-bbox="2041 302 2757 373">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</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1872 373 2041 424">影響の程度^{b)}</td> <td data-bbox="2041 373 2757 424">放射能濃度への影響：小</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1872 424 2041 468"></td> <td data-bbox="2041 424 2757 468">濃度比への影響：小</td> </tr> </table> <p data-bbox="1872 478 2757 533">注^{a)} 放射化計算コード：ORIGEN2, ライブラリ：JENDL Activation File [⁵⁹Co (n, γ) ⁶⁰Co], JENDL3.2 [⁶²Ni (n, γ) ⁶³Ni] シリーズ</p> <p data-bbox="1872 533 2757 562">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。</p> <p data-bbox="1872 579 2757 609">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）</p>		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
	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									
<p data-bbox="133 716 555 1255">3. 「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」の照射位置の選定の妥当性を確認するための考え方及び手順について「評価対象とする放射化金属等の形状および原子炉内での設置方向、配置位置を考慮した照射位置を選定した上で」とありますが、照射位置の設定の方法が具体的に示されていません。照射位置は、中性子フルエンス率と中性子スペクトルの変動との関係にも依存するため、照射位置の設定の方法において、その影響をどのように考慮するのか説明してください。</p>	<p data-bbox="555 716 946 940">照射位置の設定の方法が、放射能濃度決定標準において具体的に示されていないことから、照射位置の設定の方法において、中性子フルエンス率と中性子スペクトルの変動の影響をどのように考慮するのか質問したものです。</p>	<p data-bbox="946 716 1546 940">照射位置の設定した事例を元に、中性子フルエンス率と中性子スペクトルの変動の影響をどのように考慮したのか説明してください。表 D.2 の注 b) のようなケースが考えられるため、具体的な照射位置の設定において、どのような検討がなされた上で、どのような理由（根拠）から判断されるのかを説明してください。</p>	<p data-bbox="1546 716 1739 745">回答可能</p>	<p data-bbox="1739 716 2890 745">ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p data-bbox="1739 779 2890 842">中性子条件の変動に関しては、原子炉内の中性子フルエンス率と中性子スペクトルの評価及び評価位置の選択の2つのステップによって、以下のように考慮されます。</p> <p data-bbox="1739 875 2890 1297">① 原子炉内の中性子フルエンス率と中性子スペクトルの評価 原子炉内の軸方向及び径方向の位置ごと（軸方向 24 区分、径方向（炉心中央、最外周及び中性子の変動を与える制御棒近傍におけるコントロールセルを含む 3 区分）における中性子フルエンス率と中性子スペクトルを、検証された中性子輸送計算コードを使用した中性子輸送計算を用いて、炉内の構造条件なども踏まえて個々に評価し、原子炉内の中性子の分布をマッピングします。これによって、原子炉内における中性子フルエンス率と中性子スペクトルの変動を考慮した中性子の分布が評価できます。（附属書 D の D.2 f) 参照）</p> <p data-bbox="1739 1100 2890 1297">② 放射化計算用の評価位置の選択（①で評価した中性子の分布から選択するための位置の決定） 原子炉内に設置されている放射化金属等の放射能濃度を評価するため、上記①でマッピングされた中性子の分布から、評価対象放射化金属等原子炉内の位置（軸方向及び径方向）を、放射化金属等の設置状態を踏まえて評価する照射位置を選択します。これによって、選択した放射能濃度を評価する位置における中性子フルエンス率と中性子スペクトルを決定することが出来ます。（附属書 D の D.2 b) 参照）</p> <p data-bbox="1739 1331 2890 1457">②における区間推定法における評価対象とする放射化金属等の原子炉内の軸方向及び径方向の照射位置の選択は、下記（附属書 D の D.2 b) 参照）に示しますように、「評価対象とする位置に関する存在確率分布」から、ランダムサンプリングによって選定することで、その影響を含めた放射能濃度分布を評価します。</p> <p data-bbox="1739 1457 2890 1520">なお、「評価対象とする位置に関する存在確率分布」は、附属書 D の表 D.2 に示しますように、評価対象物の原子炉内での軸方向、径方向の設置方向を踏まえて、設定します。</p> <p data-bbox="1739 1520 2890 1646">ランダムサンプリングを行うための軸方向と径方向の評価対象とする位置に関する存在確率分布は、対象とする放射化金属等の放射能濃度分布（同一体積単位で評価した放射能濃度分布）を評価するために、下表に示す分布を考慮し、この分布からランダムサンプリングを行い、評価位置を設定します。</p> <table border="1" data-bbox="1822 1682 2813 1764"> <tr> <td data-bbox="1822 1682 2318 1732">軸方向に設置される放射化金属等</td> <td data-bbox="2318 1682 2813 1732">径方向に水平に設置される放射化金属等</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1822 1732 2318 1764">チャンネルボックスなど</td> <td data-bbox="2318 1732 2813 1764">上部格子板など</td> </tr> </table>	軸方向に設置される放射化金属等	径方向に水平に設置される放射化金属等	チャンネルボックスなど	上部格子板など		
軸方向に設置される放射化金属等	径方向に水平に設置される放射化金属等									
チャンネルボックスなど	上部格子板など									

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容												
				<div data-bbox="1825 304 2813 829" data-label="Figure"> <p>有効燃料部を24分割し、炉外の1分割を加えた25分割で評価する。</p> <p>面積比のイメージ図（平面図） （分割数はイメージのため簡易的に示したもの）</p> <p>同心円状の部分の面積比¹⁾による存在確率の重み付けを考慮した径方向の位置をランダム選択</p> <p>注1 各面積比の数値が中心部と各部位の面積比の重み付けの値を示す。</p> </div> <div data-bbox="1795 861 2813 1249" data-label="Text"> <p>D.2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー</p> <p>b) 評価対象とする放射化金属等の内部における評価位置の選択（評価位置） 評価対象とする放射化金属等の形状及び原子炉内での設置方向を踏まえて、評価対象とする放射化金属等の内部における評価対象とする位置に関する存在確率分布を設定する。入力条件を設定するため放射化金属等の内部における評価位置は、この確率分布からランダムサンプリングし、選択・設定される（D.3 参照）。</p> <p>f) 中性子フルエンス率の設定 原子炉内の中性子フルエンス率の分布を検証、妥当性確認された計算コードを使用して評価する。続いて、ステップ b) で選択した評価対象物の照射位置、及びステップ d) で選択した原子炉内の設置位置のローテーションパターンを踏まえ、評価した照射期間中の中性子フルエンス率の分布から入力条件とする中性子フルエンス率を選択する（D.5 参照）。</p> </div> <div data-bbox="1795 1291 2813 1848" data-label="Table"> <p>表 D.2—評価対象放射化金属等の内部における照射位置の設定に関わる基本的な考え方</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>評価対象とする放射化金属等の形状及び設置方向^{a)}</th> <th>考慮する条件^{b)}</th> <th>評価対象とする放射化金属等の一例^{c)}</th> <th>考慮する照射位置の出現確率の分布</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>原子炉の軸方向</td> <td>評価対象とする放射化金属等自身の炉心軸方向の設置状態</td> <td>チャンネルボックス、制御棒、シュラウドなど</td> <td>一様分布</td> </tr> <tr> <td>原子炉の径方向</td> <td>評価対象とする放射化金属等自身の炉心径方向の設置状態</td> <td>上部格子板など</td> <td>該当部の面積比に応じた分布</td> </tr> </tbody> </table> <p>注 ^{a)} 評価対象とする放射化金属等自身の形状及び原子炉内外での設置方向（原子炉の軸方向に沿って設置、原子炉の径方向に沿って設置など）。 ^{b)} 中性子フルエンス率、中性子スペクトルとして特段の考慮が必要な評価対象とする放射化金属等の形状及び設置方向があれば、必要に応じて考慮。 ^{c)} 原子炉内の軸方向、及び径方向に広がる形状で設置されている代表的な廃棄物の例。</p> </div>	評価対象とする放射化金属等の形状及び設置方向 ^{a)}	考慮する条件 ^{b)}	評価対象とする放射化金属等の一例 ^{c)}	考慮する照射位置の出現確率の分布	原子炉の軸方向	評価対象とする放射化金属等自身の炉心軸方向の設置状態	チャンネルボックス、制御棒、シュラウドなど	一様分布	原子炉の径方向	評価対象とする放射化金属等自身の炉心径方向の設置状態	上部格子板など	該当部の面積比に応じた分布
評価対象とする放射化金属等の形状及び設置方向 ^{a)}	考慮する条件 ^{b)}	評価対象とする放射化金属等の一例 ^{c)}	考慮する照射位置の出現確率の分布													
原子炉の軸方向	評価対象とする放射化金属等自身の炉心軸方向の設置状態	チャンネルボックス、制御棒、シュラウドなど	一様分布													
原子炉の径方向	評価対象とする放射化金属等自身の炉心径方向の設置状態	上部格子板など	該当部の面積比に応じた分布													

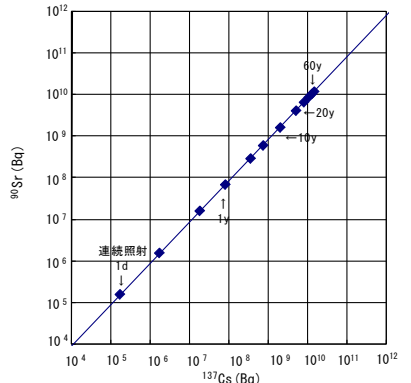
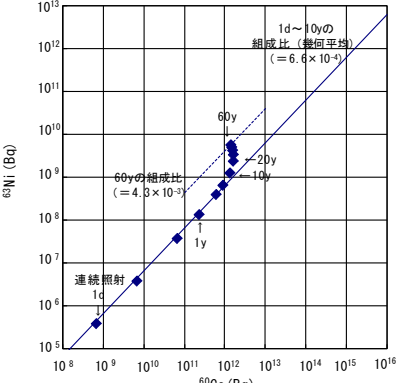
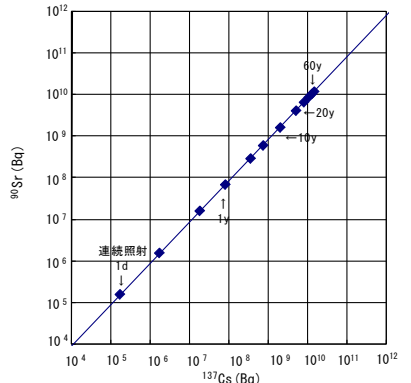
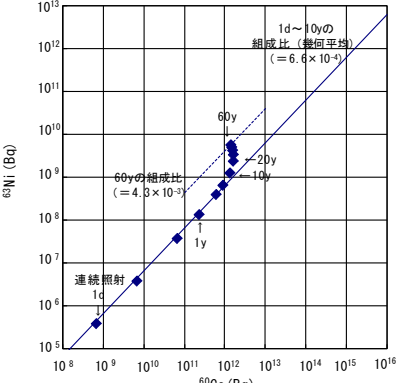
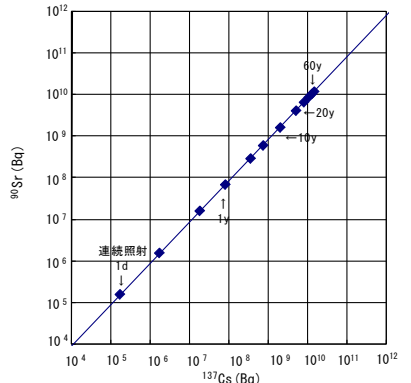
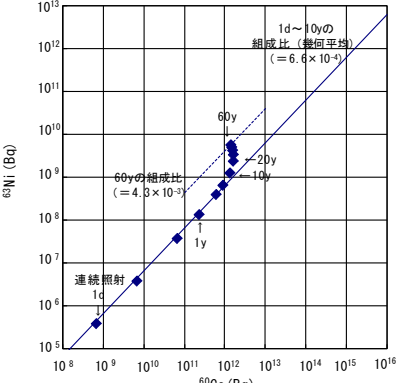
質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
				<p>回答3に対する追加質問（検討チーム会合中のご質問） 表D.2の注b)の特段の考慮が必要な場合とは具体的にどのような場合か。 中性子フルエンス率、中性子スペクトルが変化する特段の考慮が必要な場合とは、次のような場合を意味します。</p> <ul style="list-style-type: none"> 強い中性子吸収体（例 制御棒）によって中性子分布の歪みが生じる位置（BWR のコントロールセル） <p>補足：中性子の歪みの例 PWR 制御棒における中性子の歪みの例を下記に示します。</p>  <p>図 G.8—PWR 制御棒における熱中性子フルエンス率のディプレッション効果（概念図）</p> <p>制御棒は、強い中性子吸収体であるため、中性子分布の歪みが生じる範囲として、制御棒の近傍（被覆管）及び内部（吸収体）での中性子スペクトルが変化します。それらの影響の度合いとして、中性子スペクトルの変化を評価して、放射化断面積を作成する必要があります。下図に制御棒の近傍（被覆管）及び内部（吸収体）での中性子スペクトルの変化を評価した例を示します。（附属書 G 図 G.12）</p>

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
				 <p>注) 集合体断面平均φで規格化</p> <p>図 G12—PWR 制御棒先端部の中性子スペクトル（2ループプラント、14×14型燃料の例）</p>
<p>4. 「D. 6. 2. 2 中性子の照射時間」で中性子の照射時間については評価対象とする放射化金属等の放射能濃度を代表できるような照射時間、又は放射能濃度評価結果が大きくなるような照射時間の条件を設定するとされていますが、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、評価結果が大きくなるような照射時間の条件設定方法が記載されていません。「比較的短半</p>		<p>— （考え方の概要は理解しましたので、現時点では、追加の質問はありません。）</p>		<p>（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、評価結果が大きくなるような照射時間の条件設定方法）</p> <p>評価対象物中に生成する放射性核種の放射能濃度は、中性子照射時間に比例して高くなります。このため、評価する対象の放射能が最大放射能濃度（評価結果が大きくなるような照射時間を適用）なのか総放射エネルギー（放射能濃度を代表できるような照射時間を適用）なのかによって設定方法が異なります。このため、条件設定方法を規定することはせず附属書に場合分けした例を示しています。また、評価対象物が、チャンネルボックスのような運転廃棄物か、解体廃棄物かによっても異なります。</p> <p>① 運転廃棄物の場合の照射時間の設定例（附属書Dの表D.8参照）</p> <p>② 代表できるような照射時間： 中性子の照射時間（合計）の実績の頻度分布（例えば、正規分布）を設定し、この頻度分布からランダムサンプリングによって選定します。</p>

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会


質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																														
減期核種との濃度比を用いる場合には、評価対象とする放射化金属等の中性子の全照射時間の長さに応じて放射化計算の条件設定を変えるなど、適切に考慮する必要がある。」について、その方法を具体的に示してください。				<p>⑥ 放射能濃度評価結果が大きくなるような照射時間：④で設定しました頻度分布の信頼上限値を平均、標準偏差によって適用します。</p> <p>② 解体廃棄物の場合の照射時間の設定例（附属書Dの表D.8参照）</p> <p>④ 代表できるような照射時間：対象原子炉ごと及び評価対象とする放射化金属等ごとに中性子の照射実績が同じ場合は、実績を踏まえ個別値の照射時間を一律¹⁾に設定します。</p> <p>⑥ 放射能濃度評価結果が大きくなるような照射時間：④と同じです。</p> <p>注1 解体廃棄物は中性子照射が一斉に終了するため、供用期間中に取替工事が行われることが無ければ、炉内構造物に対する照射時間は同じとなります。</p> <p>表 D.8—プラント寿命中における中性子の照射時間及び照射停止時間の基本的考え方</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">設定項目</th> <th colspan="3">照射条件の設定方法</th> </tr> <tr> <th>設定方法</th> <th>設定の基本的考え方</th> <th>設定対象</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>照射時間（合計）</td> <td>頻度分布による設定</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 評価対象とする放射化金属等の中性子の照射時間が必ずしも一律でない場合、中性子の照射時間（合計）の実績などで適切な分布形状（例えば、正規分布）を設定する。 設定する頻度分布は、中性子の照射時間の分布形状に応じ平均、標準偏差などによって設定する。 </td> <td>チャンネルボックス、制御棒など</td> </tr> <tr> <td>照射時間（合計）</td> <td>個別値による設定</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 対象原子炉ごと及び評価対象とする放射化金属等ごとに中性子の照射実績が同じ場合は、実績を踏まえ照射時間を一律に設定する。 </td> <td>シュラウド、上部格子板など</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">照射停止時間^{a)}（原子炉供用期間中）</td> <td>均等設定</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 評価対象とする放射化金属等の照射停止時間（合計）及び照射停止回数の実績によって、平均的な照射停止回数及び1回当たりの平均的な照射停止時間の割合（すなわち稼働率）を一律に設定する。 平均的な照射停止時間の割合で、運転サイクルごとに均等に設定する。 </td> <td rowspan="2">全評価対象廃棄物</td> </tr> <tr> <td>個別設定</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 評価対象とする放射化金属等の照射実績にあわせて、個別の照射停止時期及び照射停止時間を設定する。 </td> </tr> </tbody> </table> <p>注^{a)} 全ての中性子の照射が終了した後の保管している経過時間は、基本的に照射条件として設定せず、評価結果に減衰補正を加えて評価することが望ましい。</p> <p>（比較的短半減期核種との濃度比を用いる場合の設定方法）</p> <p>「D.6.2.2 中性子の照射時間」の比較的短半減期核種との濃度比の場合の影響の例は、附属書BのB.4.1に示しておりますが、半減期の2倍程度の期間を過ぎると比較的短半減期の短いCo-60の減衰に起因した影響が顕著に表れてきますので、照射期間の長い解体廃棄物に関しては、濃度比法を適用する場合は、下表のように設定します。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th>評価対象物の例</th> <th>照射期間の設定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>運転廃棄物</td> <td>チャンネルボックス、制御棒など</td> <td>数年から十数年程度の照射期間に幅があるため、全照射時間の長さ（例 10年間ごとに区切るなど）に応じてグルーピングを行い、グループごとに照射期間を設定して濃度比を決定する。</td> </tr> <tr> <td>解体廃棄物</td> <td>上部格子板、バッフ</td> <td>照射期間は、供用期間中の取替工事（例 シュラウド</td> </tr> </tbody> </table>	設定項目	照射条件の設定方法			設定方法	設定の基本的考え方	設定対象	照射時間（合計）	頻度分布による設定	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象とする放射化金属等の中性子の照射時間が必ずしも一律でない場合、中性子の照射時間（合計）の実績などで適切な分布形状（例えば、正規分布）を設定する。 設定する頻度分布は、中性子の照射時間の分布形状に応じ平均、標準偏差などによって設定する。 	チャンネルボックス、制御棒など	照射時間（合計）	個別値による設定	<ul style="list-style-type: none"> 対象原子炉ごと及び評価対象とする放射化金属等ごとに中性子の照射実績が同じ場合は、実績を踏まえ照射時間を一律に設定する。 	シュラウド、上部格子板など	照射停止時間 ^{a)} （原子炉供用期間中）	均等設定	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象とする放射化金属等の照射停止時間（合計）及び照射停止回数の実績によって、平均的な照射停止回数及び1回当たりの平均的な照射停止時間の割合（すなわち稼働率）を一律に設定する。 平均的な照射停止時間の割合で、運転サイクルごとに均等に設定する。 	全評価対象廃棄物	個別設定	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象とする放射化金属等の照射実績にあわせて、個別の照射停止時期及び照射停止時間を設定する。 	区分	評価対象物の例	照射期間の設定	運転廃棄物	チャンネルボックス、制御棒など	数年から十数年程度の照射期間に幅があるため、全照射時間の長さ（例 10年間ごとに区切るなど）に応じてグルーピングを行い、グループごとに照射期間を設定して濃度比を決定する。	解体廃棄物	上部格子板、バッフ	照射期間は、供用期間中の取替工事（例 シュラウド
設定項目	照射条件の設定方法																																	
	設定方法	設定の基本的考え方	設定対象																															
照射時間（合計）	頻度分布による設定	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象とする放射化金属等の中性子の照射時間が必ずしも一律でない場合、中性子の照射時間（合計）の実績などで適切な分布形状（例えば、正規分布）を設定する。 設定する頻度分布は、中性子の照射時間の分布形状に応じ平均、標準偏差などによって設定する。 	チャンネルボックス、制御棒など																															
照射時間（合計）	個別値による設定	<ul style="list-style-type: none"> 対象原子炉ごと及び評価対象とする放射化金属等ごとに中性子の照射実績が同じ場合は、実績を踏まえ照射時間を一律に設定する。 	シュラウド、上部格子板など																															
照射停止時間 ^{a)} （原子炉供用期間中）	均等設定	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象とする放射化金属等の照射停止時間（合計）及び照射停止回数の実績によって、平均的な照射停止回数及び1回当たりの平均的な照射停止時間の割合（すなわち稼働率）を一律に設定する。 平均的な照射停止時間の割合で、運転サイクルごとに均等に設定する。 	全評価対象廃棄物																															
	個別設定	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象とする放射化金属等の照射実績にあわせて、個別の照射停止時期及び照射停止時間を設定する。 																																
区分	評価対象物の例	照射期間の設定																																
運転廃棄物	チャンネルボックス、制御棒など	数年から十数年程度の照射期間に幅があるため、全照射時間の長さ（例 10年間ごとに区切るなど）に応じてグルーピングを行い、グループごとに照射期間を設定して濃度比を決定する。																																
解体廃棄物	上部格子板、バッフ	照射期間は、供用期間中の取替工事（例 シュラウド																																

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																	
				<p>ル、シュラウド、炉心槽など 交換)などが無ければ、炉ごとに40年間や60年間などのように、一定の実績照射期間で設定して濃度比を決定する。</p> <table border="1" data-bbox="1804 443 2822 1157"> <thead> <tr> <th data-bbox="1804 443 1932 506"></th> <th data-bbox="1932 443 2398 506">比較的半減期が長い核種同士の組合せ (⁹⁰Sr/¹³⁷Cs) (図 B.6 抜粋)</th> <th data-bbox="2398 443 2822 506">半減期が短い核種との組合せ (⁶³Ni/⁶⁰Co) (図 B.6 抜粋)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1804 506 1932 919">解析結果 a)</td> <td data-bbox="1932 506 2398 919">  </td> <td data-bbox="2398 506 2822 919">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1804 919 1932 989">計算条件</td> <td colspan="2" data-bbox="1932 919 2822 989">長期照射（～60年連続）条件で放射化計算を実施。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1804 989 1932 1058">影響の程度 b)</td> <td data-bbox="1932 989 2398 1058">濃度比への影響：小</td> <td data-bbox="2398 989 2822 1058">濃度比への影響：小（～10年程度） 中（長期照射の場合）</td> </tr> <tr> <td colspan="5" data-bbox="1804 1058 2822 1157"> <p>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，“大：1桁程度以上の差異を生む”，“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。</p> </td> </tr> </tbody> </table>		比較的半減期が長い核種同士の組合せ (⁹⁰ Sr/ ¹³⁷ Cs) (図 B.6 抜粋)	半減期が短い核種との組合せ (⁶³ Ni/ ⁶⁰ Co) (図 B.6 抜粋)	解析結果 a)			計算条件	長期照射（～60年連続）条件で放射化計算を実施。		影響の程度 b)	濃度比への影響：小	濃度比への影響：小（～10年程度） 中（長期照射の場合）	<p>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，“大：1桁程度以上の差異を生む”，“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。</p>				
	比較的半減期が長い核種同士の組合せ (⁹⁰ Sr/ ¹³⁷ Cs) (図 B.6 抜粋)	半減期が短い核種との組合せ (⁶³ Ni/ ⁶⁰ Co) (図 B.6 抜粋)																			
解析結果 a)																					
計算条件	長期照射（～60年連続）条件で放射化計算を実施。																				
影響の程度 b)	濃度比への影響：小	濃度比への影響：小（～10年程度） 中（長期照射の場合）																			
<p>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，“大：1桁程度以上の差異を生む”，“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。</p>																					
<p>5. 「A.1.2 STEP1：計算のための基本の設定」のSTEP1では「対象とする放射化金属等の特性（幾何形状、元素成分条件など）、原子炉の運転条件（中性子条件及び照射条件）などの放射化計算に必要なデータを事前に収集する」と記載されていますが、図A.1の該当箇所には、「放射化金属等の幾何形状」に代わり「原子炉及び放射化物の特性」が記載されています。「原子炉及び放射化物の特性」に関してどのようなデータを収集するのか具体例をもって説明してください。</p>	<p>本文と図の記載の不整合があるため質問したものです。</p>	<p>— (図A.1「理論計算法の適用基本フロー」のSTEP1に示された「原子炉及び放射化物の特性」の内訳として「元素成分条件」「中性子条件」「照射条件」が含まれることと理解しましたので、追加質問はありません。)</p>		<p>「A.1.2 STEP1：計算のための基本の設定」では、放射化金属等の特性（幾何形状、元素成分条件など）、原子炉の運転条件（中性子条件及び照射条件）を事前に収集します。 放射化物の放射能濃度の評価のためには、まず、基礎となる評価対象である「原子炉の特性（炉型、燃料）及び放射化物の特性（材質、幾何形状）」を踏まえて、放射化計算に必要なデータとなります入力データの収集が必要となることを示したものです。 したがって、「原子炉及び放射化物の特性」とは、評価の対象となります原子炉の特性（炉型、燃料）及び放射化物の特性（材質、幾何形状）を把握することを意味しています。</p> <div data-bbox="1789 1493 2813 1881" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>A.1.2 STEP1：計算のための基本の設定</p> <p>放射化金属等中の放射能濃度を理論的に評価するには、対象とする放射化金属等の特性（幾何形状、元素成分条件など）、原子炉の運転条件（中性子条件及び照射条件）などの放射化計算に必要なデータを事前に収集する。 この手順の詳細は、附属書Dを参照。</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>[STEP1]</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <p>計算条件の検討及び収集</p> <ul style="list-style-type: none"> - 原子炉及び放射化物の特性 - 元素成分条件 - 中性子条件 - 照射条件 <p>など (詳細は6.1参照)</p> </div> </div> </div>																	

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																		
				<p style="text-align: center;">図 A.1—理論計算法の適用基本フロー（抜粋）</p> <p>D.2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー</p> <p>a) 評価対象とする放射化金属等の選択及び特性の調査 最初のステップとして、選択した評価対象とする放射化金属等の特性（例 形状、材質など）の把握、原子炉内での中性子照射履歴、元素分析データなどの入力条件の設定に必要な基礎データの収集を行う。</p>																		
<p>6. 「A.1.5 STEP4：結果の提示」に「適切な計算コードを選択し、放射化計算を実施し、直接的に放射能濃度を算出するか、又は濃度比などの評価係数を計算する。」との記載がありますが、何をもちいて計算コードの適切性を確認するのか説明してください。また、図 A.1 には、「検証された放射化計算方法の選択」とありますが、どのように放射化計算方法を検証するのか説明してください。</p>	<p>適切な計算コードを選定しなければ、適切な計算はできません。このため、計算コードの適切性を判断する際の、確認項目、確認方法、適切と判断する基準等について質問したものです。</p>	<p>どのように計算コードの適切性を確認したのか分かるよう、計算コードの適切性を判断する際の、確認項目、確認方法、適切と判断する基準等について、具体的に記載して下さい。他の規格、第三者機関等による場合には、その内容について説明してください。また、「検証と妥当性確認 (V&V)」を説明する際には、定義や引用元を明確にした上で記載してください。</p>	<p>回答可能</p>	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p>計算コードの適切性の確認については、「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン」(JANSI-GQA-01-第3版) [1] 4.2.2 計算機プログラムの検証に示される確認方法を適用して、可能な方法（複数）にて確認します。下表に上記ガイドラインに記載の「確認項目・確認方法」を記載し、それに基づく具体的な「適切と判断する基準等」を示します。</p> <table border="1" data-bbox="1757 760 2878 1373"> <thead> <tr> <th>確認項目・確認方法</th> <th>適切と判断する基準等</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>・汎用ソフトウェアの導入評価（解析条件に応じた使用実績確認等）の確認</td> <td>使用実績における計算値と分析値の比較評価（傾向分析）が妥当であること</td> </tr> <tr> <td>・トピカルレポート（許認可申請において原子力施設共通事項として取りまとめた技術文書）審査等の規制機関による確認</td> <td>許認可審査等により規制機関に確認を受けている実績があること</td> </tr> <tr> <td>・実機運転データとの比較</td> <td>計算値と分析値の比較評価（傾向分析）が妥当であること</td> </tr> <tr> <td>・大型実験又はベンチマーク試験結果との比較</td> <td>計算値と分析値の比較評価（傾向分析）が妥当であること</td> </tr> <tr> <td>・規制機関によるクロスチェック</td> <td>規制機関によるクロスチェックされている場合はその実績があること</td> </tr> <tr> <td>・他の計算機プログラム（他機関、社内）による計算結果との比較</td> <td>他の計算コードの計算値と比較評価（傾向分析）が妥当であること</td> </tr> <tr> <td>・簡易モデル（サンプル計算例）、標準計算事例を用いた解析結果との比較</td> <td>サンプル計算例との計算値が一致すること</td> </tr> <tr> <td>・手計算又は理論解との比較</td> <td>手計算結果との比較評価（傾向分析）が妥当であること</td> </tr> </tbody> </table> <p>また、放射化計算コードの適切性の確認においては、放射化範囲の中性子条件（中性子フルエンス率、スペクトル）を反映した放射化計算ができるコードを選択することが必要であることから、ORIGEN又はORIGEN2コードシリーズを選択します。</p> <p>次にどのように放射化計算方法を検証するのかについてですが、上記の確認の中で計算値（予測値）と分析値（実験値）との比較（実機運転データとの比較又は大型実験又はベンチマーク試験結果との比較）を通じた放射化計算方法全体の妥当性を確認することを意味しております。その妥当性評価の事例として、実機運転データとの比較について以下に示します。</p> <p>例えば、ORIGEN2用のJENDL-4.0の放射化断面積が発行された際の文献[1]において、PWR使用済み燃料の照射後解析の結果（下図）から、実験値（E値）とORIGEN2による計算値（C値）との比較結果（C/E-1）を図に示しています。JENDL-4.0による計算結果（PWR41J40の結果：下図の赤い■）は、Cm-246, Cm-247では20～30%程度のずれがありますが、その他の核種については10%以内で実験値を再現していることが傾向分析されており、計算値と実験値はよく一致していることが評価されています。</p>	確認項目・確認方法	適切と判断する基準等	・汎用ソフトウェアの導入評価（解析条件に応じた使用実績確認等）の確認	使用実績における計算値と分析値の比較評価（傾向分析）が妥当であること	・トピカルレポート（許認可申請において原子力施設共通事項として取りまとめた技術文書）審査等の規制機関による確認	許認可審査等により規制機関に確認を受けている実績があること	・実機運転データとの比較	計算値と分析値の比較評価（傾向分析）が妥当であること	・大型実験又はベンチマーク試験結果との比較	計算値と分析値の比較評価（傾向分析）が妥当であること	・規制機関によるクロスチェック	規制機関によるクロスチェックされている場合はその実績があること	・他の計算機プログラム（他機関、社内）による計算結果との比較	他の計算コードの計算値と比較評価（傾向分析）が妥当であること	・簡易モデル（サンプル計算例）、標準計算事例を用いた解析結果との比較	サンプル計算例との計算値が一致すること	・手計算又は理論解との比較	手計算結果との比較評価（傾向分析）が妥当であること
確認項目・確認方法	適切と判断する基準等																					
・汎用ソフトウェアの導入評価（解析条件に応じた使用実績確認等）の確認	使用実績における計算値と分析値の比較評価（傾向分析）が妥当であること																					
・トピカルレポート（許認可申請において原子力施設共通事項として取りまとめた技術文書）審査等の規制機関による確認	許認可審査等により規制機関に確認を受けている実績があること																					
・実機運転データとの比較	計算値と分析値の比較評価（傾向分析）が妥当であること																					
・大型実験又はベンチマーク試験結果との比較	計算値と分析値の比較評価（傾向分析）が妥当であること																					
・規制機関によるクロスチェック	規制機関によるクロスチェックされている場合はその実績があること																					
・他の計算機プログラム（他機関、社内）による計算結果との比較	他の計算コードの計算値と比較評価（傾向分析）が妥当であること																					
・簡易モデル（サンプル計算例）、標準計算事例を用いた解析結果との比較	サンプル計算例との計算値が一致すること																					
・手計算又は理論解との比較	手計算結果との比較評価（傾向分析）が妥当であること																					

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
				<p><参考>文献[2]のP36 抜粋 ●ORLIBJ40 による計算結果は、Cm-246 と Cm-247 を除けば、ほぼ 10%以内で実験値を再現しており、ORLIBJ33 で見られた一部核種に対する過小評価も改善されている。</p> <p>[1]http://www.genanshin.jp/archive/qualityimprovement/data/jansi-gqa-01.pdf [2]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」JAEA-Data/Code2012-032</p>  <p>図 3.4-7 高浜3号炉使用済み燃料組成の計算値(C)と実験値(E)との比較(その1)</p>  <p>図 3.4-8 高浜3号炉使用済み燃料組成の計算値(C)と実験値(E)との比較(その2)</p> <p>補足：コードの適切性確認の組み合わせについて 計算コードの適切性の確認には、A:Verification（検証）とB:Validation（妥当性確認）の組み合わせが必要と考えます。C：その他 はもしあればという位置づけです。項目分けを下表に示します。 Verification（検証）は計算コードの基礎となる計算モデル（計算式）が正しいかを確認する過程</p>

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																		
				<p>であり、表中の項目のうち、「他のプログラム（他機関、社内）による計算結果との比較」、「簡易モデル（サンプル計算例）、標準計算事例を用いた解析結果との比較」、「手計算又は理論解との比較」が該当します。</p> <p>Validation(妥当性確認)は、計算コードが現実の物理現象を正しく表現しているかを確認する過程であることから、表中の項目のうち、「実機運転データとの比較」、「大型実験又はベンチマーク試験結果との比較」が該当します。</p> <p>なお、トピカルレポート（許認可申請において原子力施設共通事項として取りまとめた技術文書）審査等の規制機関による確認では上述の Verification（検証）と Validation(妥当性確認)の両方が確認されていると考えられます。</p> <table border="1" data-bbox="1967 625 2662 1167"> <thead> <tr> <th>確認項目・確認方法</th> <th>項目分け</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>・汎用ソフトウェアの導入評価(解析条件に応じた使用実績確認等)の確認</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>・トピカルレポート(許認可申請において原子力施設共通事項として取りまとめた技術文書)審査等の規制機関による確認</td> <td>A+B</td> </tr> <tr> <td>・実機運転データとの比較</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>・大型実験又はベンチマーク試験結果との比較</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>・規制機関によるクロスチェック</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>・他の計算機プログラム(他機関、社内)による計算結果との比較</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>・簡易モデル(サンプル計算例)、標準計算事例を用いた解析結果との比較</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>・手計算又は理論解との比較</td> <td>A</td> </tr> </tbody> </table>	確認項目・確認方法	項目分け	・汎用ソフトウェアの導入評価(解析条件に応じた使用実績確認等)の確認	C	・トピカルレポート(許認可申請において原子力施設共通事項として取りまとめた技術文書)審査等の規制機関による確認	A+B	・実機運転データとの比較	B	・大型実験又はベンチマーク試験結果との比較	B	・規制機関によるクロスチェック	C	・他の計算機プログラム(他機関、社内)による計算結果との比較	A	・簡易モデル(サンプル計算例)、標準計算事例を用いた解析結果との比較	A	・手計算又は理論解との比較	A
確認項目・確認方法	項目分け																					
・汎用ソフトウェアの導入評価(解析条件に応じた使用実績確認等)の確認	C																					
・トピカルレポート(許認可申請において原子力施設共通事項として取りまとめた技術文書)審査等の規制機関による確認	A+B																					
・実機運転データとの比較	B																					
・大型実験又はベンチマーク試験結果との比較	B																					
・規制機関によるクロスチェック	C																					
・他の計算機プログラム(他機関、社内)による計算結果との比較	A																					
・簡易モデル(サンプル計算例)、標準計算事例を用いた解析結果との比較	A																					
・手計算又は理論解との比較	A																					
<p>7. 「A.4.1 妥当性確認」に「なお、放射化計算方法に関する妥当性確認は、AESJ-SC-A008:2015を参照する。」とありますが、「参照」の意味するところを説明してください。また、「計算の準備」「計算の実施」「計算結果の記録」それぞれのステップについて、当該標準の参照範囲とその内容、適用できる根拠を説明してください。</p>	<p>AESJ-SC-A008:2015 に記載のシミュレーションの妥当性確認方法に則ると、非常に多くの不確実性について評価する必要があることから、本標準で AESJ-SC-A008:2015 をどの程度取り入れるのかを把握するため質問したものです。</p>	<p>— (ここでの「参照」は AESJ-SC-A008:2015 に厳密に則るのではなく、一部に考え方を取り入れることであると確認できたので追加質問はありません。具体的には、「計算の準備」に AESJ SC-A008:2015 の 3.4 章エレメント 4 の考え方を適用したということと理解しました。)</p>		<p>「AESJ SC-A008:2015 シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン」の「3.4 エレメント 4: シミュレーションモデルの予測性能の判断」に示される考え方（評価指標、不確かさ、予測性能と実験値の比較）を踏まえ、「計算の準備段階」で、放射化計算方法・計算コードが検証・妥当性確認された際の結果を確認し、放射化計算方法全体を通じた計算値（予測値）と分析値（実験値）との比較を通じて、放射化計算方法・計算コードの妥当性を確認します。</p> <p>したがって、上記ガイドラインの考え方（3.4 エレメント 4: シミュレーションモデルの予測性能の判断）を踏まえ、これを適用する箇所は「A.4.2 計算の準備」の段階だけとなります。</p> <p>また、AESJ SC-A008:2015 は原子力学会にて審議・制定されたガイドラインであり、対象がシミュレーションモデルと本標準の放射化計算との相違はあるものの、計算の妥当性に関しては、その考え方を適用できるものと考えます。ただし、この確認対象の差異を考慮し、限定的な適用として、ガイドラインの参照部分（3.4 章エレメント 4 だけ）と標準への適用範囲を A.4.2 章の計算の準備段階としているものです。</p> <p>さらに、放射化計算などによって得られた結果を確認しますが、そのプロセスは、下表に示すように「計算の準備」、「計算の実施」及び「計算結果の記録」の段階に分けて、実施します。</p> <table border="1" data-bbox="1828 1717 2801 1919"> <thead> <tr> <th>放射能評価の各段階</th> <th>妥当性確認などの内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>計算の準備段階</td> <td>・ 放射化計算方法又は放射化計算コードの妥当性の確認 ・ 必要な手順書、計算書の準備（文書化）</td> </tr> <tr> <td>計算の実施段階</td> <td>・ 文書化された放射化計算方法に従っての実施の確認 ・ 必要な放射化計算の条件を記録 (入力データの明確化及びトレーサビリティの確保)</td> </tr> </tbody> </table>	放射能評価の各段階	妥当性確認などの内容	計算の準備段階	・ 放射化計算方法又は放射化計算コードの妥当性の確認 ・ 必要な手順書、計算書の準備（文書化）	計算の実施段階	・ 文書化された放射化計算方法に従っての実施の確認 ・ 必要な放射化計算の条件を記録 (入力データの明確化及びトレーサビリティの確保)												
放射能評価の各段階	妥当性確認などの内容																					
計算の準備段階	・ 放射化計算方法又は放射化計算コードの妥当性の確認 ・ 必要な手順書、計算書の準備（文書化）																					
計算の実施段階	・ 文書化された放射化計算方法に従っての実施の確認 ・ 必要な放射化計算の条件を記録 (入力データの明確化及びトレーサビリティの確保)																					

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容		
				<table border="1"> <tr> <td>計算結果の記録段階</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 計算結果の充足性の評価 実施した放射化計算の結果の記録及び確認 放射化計算の結果を踏まえた放射能濃度の評価の確認¹⁾ </td> </tr> </table> <p>注1) 放射能濃度の評価結果に含まれる入力データの妥当性、不確かさを踏まえた評価は、この中で行います。</p>	計算結果の記録段階	<ul style="list-style-type: none"> 計算結果の充足性の評価 実施した放射化計算の結果の記録及び確認 放射化計算の結果を踏まえた放射能濃度の評価の確認¹⁾
計算結果の記録段階	<ul style="list-style-type: none"> 計算結果の充足性の評価 実施した放射化計算の結果の記録及び確認 放射化計算の結果を踏まえた放射能濃度の評価の確認¹⁾ 					
8. 「A. 4. 4 計算結果の記録段階」 「放射化計算の結果を記録し、妥当性を確認する」とあるが、妥当性の確認方法について説明してください。AESJ-SC-A008:2015 「シミュレーションの妥当性確認に従うのであれば、AESJ-SC-A008:2015 のどの部分を用いて妥当性を確認するのか具体的に説明してください。	放射化計算の妥当性確認は、本標準の根幹をなす重要な項目であり、妥当性を確認出来ない場合は放射化計算により中深度処分対象廃棄物の放射能濃度を導くことはできないと考えます。放射化計算のプロセスのひとつとして「A. 4. 4 計算結果の記録段階」が挙げられています。「放射化計算の結果を記録し、妥当性を確認する。」という記載だけを読むと、記録から妥当性確認の間にあるべき具体的方法の記載が抜けているように思われるため質問したものです。	<p>質問に対して、「「計算結果の記録」の段階における妥当性の確認方法とは、必要な計算条件を明確化し、理論計算法の放射化計算方法及び計算手順が期待される結果を与えることを（客観的、文書化された証拠によって）明示することです。」と回答いただいておりますが、より具体的に説明いただかなければ回答の方法で妥当性が確認出来るかどうか判断できません。</p> <p>①結果を記録したことで何の妥当性を確認するのでしょうか。放射化計算結果の妥当性でしょうか。放射化計算手順の妥当性でしょうか。</p> <p>②放射化計算結果を何と比較することで「放射化計算方法及び計算手順が期待される結果を与えること」を判断するのでしょうか。</p> <p>③客観的、文書化された根拠とは具体的にどのようなものを想定しているか示してください。</p>	<p>質問①回答可能</p> <p>質問②回答可能</p> <p>質問③回答可能</p>	<p>ご指摘の①～③の事項につきまして、以下に回答します。</p> <p>①「A. 4. 4 計算結果の記録段階」では、必要な計算条件を設計図面等の入力根拠と共に文書化し、理論計算法の放射化計算方法と計算手順の文書化によりプロセスが妥当であることを示し、得られた放射化計算の結果の妥当性を確認します。 放射化計算の結果の妥当性確認方法は、原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン（JANSI-CQA-01-第3版）における「4.3 解析結果の審査、検証」が該当します。</p> <p>②放射化計算の結果の妥当性確認においては、計算条件を明確化した類似解析結果との比較、または、既知の理論値や経験値との比較（物理的又は工学的整合性の確認）により傾向分析（条件ごとに結果に与える影響度を評価し、すべての条件による影響が結果に反映されていることの確認など）を行い妥当であることを確認します。 条件ごとに結果に与える影響度を評価し、すべての条件による影響が結果に反映されていることの確認事例を別紙3に示します。</p> <p>③上記②で示すような第三者が評価を再現できるような図書及び結果の妥当性を示す図書を想定しています。</p>		

○「理論的方法の入力条件の設定方法及び評価結果の不確かさ」に関するもの

1. 「6. 1. 2. 2. 3 起源元素の成分条件の設定方法」において、起源元素の成分条件は「代表値を設定する方法」、「濃度分布から設定する方法」、「濃度範囲を設定する方法」のいずれかの方法で設定すると規定していますが、同等性について説明してください。	「代表値を設定する方法」は各元素の濃度の代表値、「濃度分布から設定する方法」は各元素の複数の代表的濃度、「濃度範囲を設定する方法」は各元素の最大濃度、最小濃度を設定するとあり、いずれでも可とする理由が分からないため質問したものです。いずれでも可とするなら、結果の同等性が必要です。	点推定法及び区間推定法によって使い分け（組合せを含む。）があるのか説明してください。また、「6. 1. 3. 2 計算用入力条件の設定」においては、元素成分条件にランダムサンプリングと適切な代表値の両方を規定していますが、換算係数法の場合は「J. 1. 2 放射化計算の条件の設定」の「a) 元素成分条件」において「各元素の代表値を1点設定する」として規定しています。換算係数法で各元素濃度をランダムサンプリングした場合の換算係数及び放射能濃度の決定方法を説明してください。	回答可能	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p>(6. 1. 2. 2. 3 に対する質問の回答)</p> <p>評価対象とする放射化金属の放射能（最大放射能濃度又は総放射能量）によって、適用する元素成分条件の設定方法、及びそれぞれの保守性などの設定条件が異なるため、同等性が得られるものではありません。 なお、概ね、下記の大小関係にあると考えられます。</p> <p>「濃度範囲を設定する方法」（最大値）\geq 「代表値を設定する方法」（最大値） \geq 「濃度分布から設定する方法」（信頼上限）\geq 「濃度分布から設定する方法」（平均）\approx 「代表値を設定する方法」（平均）\geq 「濃度範囲を設定する方法」（最小値）</p> <p>その元素成分条件の設定方法を適用の評価方法による区分は、表 1-1 に示す適用を想定しています。</p> <p style="text-align: center;">表 1-1 元素成分条件の設定方法</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">点推定法</th> <th colspan="2">区間推定法</th> </tr> <tr> <th>評価対象</th> <th>最大放射能濃度</th> <th>平均放射能濃度</th> <th>最大放射能濃度</th> <th>平均放射能濃度</th> </tr> </thead> </table>		点推定法		区間推定法		評価対象	最大放射能濃度	平均放射能濃度	最大放射能濃度	平均放射能濃度
	点推定法		区間推定法											
評価対象	最大放射能濃度	平均放射能濃度	最大放射能濃度	平均放射能濃度										

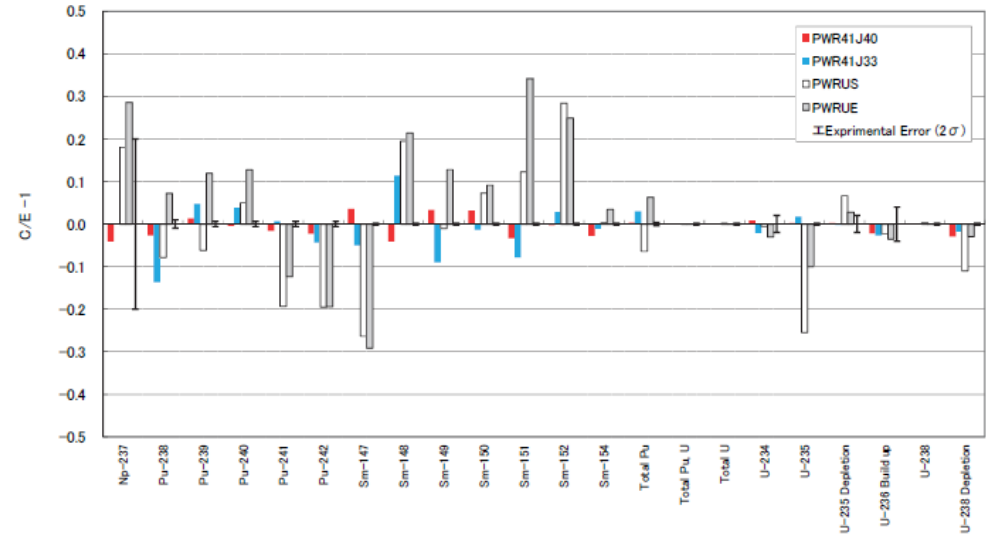
質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																									
○「理論的方法の入力条件の設定方法の具体及び評価結果の不確かさ」に関するもの																													
				<table border="1"> <tr> <td>適用する元素の成分条件の設定方法</td> <td>代表値を設定する方法（最大値）</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 濃度分布から設定する方法（平均） 代表値を設定する方法（平均） </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 濃度範囲を設定する方法（最大値） 代表値を設定する方法（最大値） 濃度分布から設定する方法（信頼上限） </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 濃度分布から設定する方法（平均） 代表値を設定する方法（平均） </td> </tr> <tr> <td>適用区分</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 収集した元素分析結果の最大値が利用できる場合 JISなどの規格値の上限値を適用する場合 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ①収集した元素分析結果が利用できる場合（平均） ②JISなどの規格値の平均値を適用する場合 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ①JISなどの規格値の上限値を適用する場合 ②収集した元素分析結果の最大値が利用できる場合 ③ランダムサンプリング用の入力用設定分布から設定する場合（評価結果の信頼上限） </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ①ランダムサンプリング用の入力用設定分布から設定する場合（評価結果の平均） ②収集した元素分析結果が利用できる場合 </td> </tr> </table> <p> 換算係数法で評価対象物の条件を網羅する評価（ランダムサンプリングによって）した場合の換算係数及び放射能濃度の決定方法を附属書Jに示しました代表値（平均など）による評価と比較する形で表1-2に示しました。 なお、標準附属書Jには換算係数法における「J.1.2 放射化計算の条件の設定」の例として、「a)元素成分条件」を「各元素の代表値を1点設定する」としていますが、これは平均放射能濃度を評価する例を示しているため代表値で設定しているが、標準では代表値、ランダムサンプリングどちらでも設定可能としており、最大放射能濃度の評価では入力条件をランダムサンプリングとすることを考えています。 </p> <p>表1-2 ランダムサンプリング及び代表値による換算係数及び放射能濃度の決定方法</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>評価対象物の条件を網羅する評価</th> <th>代表値（平均など）による評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>元素成分条件</td> <td>濃度分布から設定する方法でランダムサンプリングによって濃度を設定（必要数を繰り返し設定）</td> <td>濃度分布から設定する方法によって代表値（平均値）を設定</td> </tr> <tr> <td>中性子条件</td> <td>事前に個々に評価した炉内の中性子フルエンス率（中性子スペクトル含む）の分布から、評価対象物の軸方向及び径方向位置をランダムサンプリングによって選択し、その位置の中性子フルエンス率で設定（必要数を繰り返し設定）</td> <td>軸方向は24分割ごと計算した平均値、径方向は燃焼度の違いを補正した炉内平均中性子フルエンス率で設定</td> </tr> <tr> <td>燃焼度</td> <td>評価燃焼度（例 10～55GWd/t から数点設定）を設定して、燃焼度の分布からランダムサンプリングによって燃焼度を設定（必要数を繰り返し設定）</td> <td>燃焼度の範囲から評価対象燃焼度（例 10～55GWd/t から数点設定）として複数設定</td> </tr> <tr> <td>換算係数</td> <td>上記の入力条件での燃焼度に対する</td> <td>上記の入力条件での燃焼度に対する</td> </tr> </tbody> </table>	適用する元素の成分条件の設定方法	代表値を設定する方法（最大値）	<ul style="list-style-type: none"> 濃度分布から設定する方法（平均） 代表値を設定する方法（平均） 	<ul style="list-style-type: none"> 濃度範囲を設定する方法（最大値） 代表値を設定する方法（最大値） 濃度分布から設定する方法（信頼上限） 	<ul style="list-style-type: none"> 濃度分布から設定する方法（平均） 代表値を設定する方法（平均） 	適用区分	<ul style="list-style-type: none"> 収集した元素分析結果の最大値が利用できる場合 JISなどの規格値の上限値を適用する場合 	<ul style="list-style-type: none"> ①収集した元素分析結果が利用できる場合（平均） ②JISなどの規格値の平均値を適用する場合 	<ul style="list-style-type: none"> ①JISなどの規格値の上限値を適用する場合 ②収集した元素分析結果の最大値が利用できる場合 ③ランダムサンプリング用の入力用設定分布から設定する場合（評価結果の信頼上限） 	<ul style="list-style-type: none"> ①ランダムサンプリング用の入力用設定分布から設定する場合（評価結果の平均） ②収集した元素分析結果が利用できる場合 		評価対象物の条件を網羅する評価	代表値（平均など）による評価	元素成分条件	濃度分布から設定する方法でランダムサンプリングによって濃度を設定（必要数を繰り返し設定）	濃度分布から設定する方法によって代表値（平均値）を設定	中性子条件	事前に個々に評価した炉内の中性子フルエンス率（中性子スペクトル含む）の分布から、評価対象物の軸方向及び径方向位置をランダムサンプリングによって選択し、その位置の中性子フルエンス率で設定（必要数を繰り返し設定）	軸方向は24分割ごと計算した平均値、径方向は燃焼度の違いを補正した炉内平均中性子フルエンス率で設定	燃焼度	評価燃焼度（例 10～55GWd/t から数点設定）を設定して、燃焼度の分布からランダムサンプリングによって燃焼度を設定（必要数を繰り返し設定）	燃焼度の範囲から評価対象燃焼度（例 10～55GWd/t から数点設定）として複数設定	換算係数	上記の入力条件での燃焼度に対する	上記の入力条件での燃焼度に対する
適用する元素の成分条件の設定方法	代表値を設定する方法（最大値）	<ul style="list-style-type: none"> 濃度分布から設定する方法（平均） 代表値を設定する方法（平均） 	<ul style="list-style-type: none"> 濃度範囲を設定する方法（最大値） 代表値を設定する方法（最大値） 濃度分布から設定する方法（信頼上限） 	<ul style="list-style-type: none"> 濃度分布から設定する方法（平均） 代表値を設定する方法（平均） 																									
適用区分	<ul style="list-style-type: none"> 収集した元素分析結果の最大値が利用できる場合 JISなどの規格値の上限値を適用する場合 	<ul style="list-style-type: none"> ①収集した元素分析結果が利用できる場合（平均） ②JISなどの規格値の平均値を適用する場合 	<ul style="list-style-type: none"> ①JISなどの規格値の上限値を適用する場合 ②収集した元素分析結果の最大値が利用できる場合 ③ランダムサンプリング用の入力用設定分布から設定する場合（評価結果の信頼上限） 	<ul style="list-style-type: none"> ①ランダムサンプリング用の入力用設定分布から設定する場合（評価結果の平均） ②収集した元素分析結果が利用できる場合 																									
	評価対象物の条件を網羅する評価	代表値（平均など）による評価																											
元素成分条件	濃度分布から設定する方法でランダムサンプリングによって濃度を設定（必要数を繰り返し設定）	濃度分布から設定する方法によって代表値（平均値）を設定																											
中性子条件	事前に個々に評価した炉内の中性子フルエンス率（中性子スペクトル含む）の分布から、評価対象物の軸方向及び径方向位置をランダムサンプリングによって選択し、その位置の中性子フルエンス率で設定（必要数を繰り返し設定）	軸方向は24分割ごと計算した平均値、径方向は燃焼度の違いを補正した炉内平均中性子フルエンス率で設定																											
燃焼度	評価燃焼度（例 10～55GWd/t から数点設定）を設定して、燃焼度の分布からランダムサンプリングによって燃焼度を設定（必要数を繰り返し設定）	燃焼度の範囲から評価対象燃焼度（例 10～55GWd/t から数点設定）として複数設定																											
換算係数	上記の入力条件での燃焼度に対する	上記の入力条件での燃焼度に対する																											

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容												
○「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																
				<table border="1"> <tr> <td></td> <td>放射能濃度を評価し、換算係数（放射能濃度／燃焼度）を平均又は信頼上限値として算出する。</td> <td>放射能濃度を評価し、換算係数を平均値として算出する。</td> </tr> <tr> <td>放射能濃度</td> <td>記録から評価対象物の燃焼度を設定し、換算係数を乗じて、放射能濃度（平均、最大）を決定する。</td> <td>記録から評価対象物の燃焼度を設定し、換算係数を乗じて、放射能濃度（平均）を決定する。</td> </tr> </table> <p>ここで示します「信頼上限」の評価に適用する有意水準に関しては、下記の考え方を基本としています。</p> <table border="1"> <tr> <td>有意水準</td> <td>95 %</td> <td>99 %</td> </tr> <tr> <td>適用理由</td> <td>平均値と平均値の信頼下限値の差（すなわち不確かさの大きさ）の推移評価を行う「相対比較」に関しては、一般的な有意水準としての適用が多い95%を適用する。</td> <td>評価する分布の標準偏差の「値」として適用する場合に関しては、より信頼を高くするために、99%を適用する。</td> </tr> </table>		放射能濃度を評価し、換算係数（放射能濃度／燃焼度）を平均又は信頼上限値として算出する。	放射能濃度を評価し、換算係数を平均値として算出する。	放射能濃度	記録から評価対象物の燃焼度を設定し、換算係数を乗じて、放射能濃度（平均、最大）を決定する。	記録から評価対象物の燃焼度を設定し、換算係数を乗じて、放射能濃度（平均）を決定する。	有意水準	95 %	99 %	適用理由	平均値と平均値の信頼下限値の差（すなわち不確かさの大きさ）の推移評価を行う「相対比較」に関しては、一般的な有意水準としての適用が多い95%を適用する。	評価する分布の標準偏差の「値」として適用する場合に関しては、より信頼を高くするために、99%を適用する。
	放射能濃度を評価し、換算係数（放射能濃度／燃焼度）を平均又は信頼上限値として算出する。	放射能濃度を評価し、換算係数を平均値として算出する。														
放射能濃度	記録から評価対象物の燃焼度を設定し、換算係数を乗じて、放射能濃度（平均、最大）を決定する。	記録から評価対象物の燃焼度を設定し、換算係数を乗じて、放射能濃度（平均）を決定する。														
有意水準	95 %	99 %														
適用理由	平均値と平均値の信頼下限値の差（すなわち不確かさの大きさ）の推移評価を行う「相対比較」に関しては、一般的な有意水準としての適用が多い95%を適用する。	評価する分布の標準偏差の「値」として適用する場合に関しては、より信頼を高くするために、99%を適用する。														
(1) b)の放射化断面積は、使用する放射化計算コードの放射化断面積ライブラリ又は中性子フルエンス率の評価結果のいずれかの方法で設定すると規定していますが、同等性について説明してください。	「使用する放射化計算コードの放射化断面積ライブラリ」は計算コード内から選択で求まるが、「中性子フルエンス率の評価結果から…放射化断面積を設定」は計算コード内で行うものではないと思われます。計算式の説明がないため、同等なのかを質問したものです。	計算コードから求めた放射化断面積と中性子フルエンス率の評価結果から求めたものの例を示して下さい。	計算コードの断面積と中性子フルエンス率から求めた放射化断面積の例がなく、計算式が同等であることを説明。	<p>計算コードの断面積と中性子フルエンス率から求めた放射化断面積の比較例がないことから、両者の計算式の同等性を更問1. (1)への回答に示します。</p> <p>(6.1.2.3に対する質問と想定した回答) ORIGEN2 コードシリーズについては、コードに付属する放射化断面積ライブラリの使用又は中性子フルエンス率（中性子スペクトル）の評価結果に基づき放射化断面積を作成して使用することとなります。 ORIGEN コードシリーズについては、中性子フルエンス率の評価結果より、3群の中性子フルエンス率の比（スペクトルインデックス）に基づく放射化断面積がコード内で作成されることとなります。 以上のいずれの方法においても、評価対象位置の中性子スペクトルを考慮した放射化断面積を使用し放射化計算を実施するという観点においては同等と考えます。</p> <p>更問1. (1) 計算コードから求めた放射化断面積 (ORIGEN2 コードに付属する放射化断面積) と、中性子フルエンス率の評価結果から放射化断面積を設定した値を比較した例がないため、両者の計算式が同等であることを示します。</p> <p>ORIGEN2 コードにおける中性子スペクトルの評価結果から放射化断面積を作成する処理は、以下のとおり行います。(6)式は、ORIGEN2 コード付属の放射化断面積ライブラリである ORLIBJ40^[1]での1群断面積の作成の式（[1]文献の2-5式）と同じであるため、計算式は同等です。</p> <p>(中性子スペクトルの評価結果から放射化断面積（1群断面積）の作成処理) 放射化反応率 I は連続的な分布を持つ中性子フルエンス率 $\Phi(E)$ と放射化断面積 $\sigma(E)$ に対して、エネルギーで積分することで(1)式により求めることが出来る。</p> $I = \int \Phi(E) \cdot \sigma(E) dE \quad (1)$												

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
○「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				
				<p>しかし、本検討における中性子フルエンス率は、輸送計算コードを利用して得られる中性子フルエンス率は、多群のエネルギー群構造のものとなる。</p> <p>そのため、放射化反応率 I は、(2)式で与えられることとなり、輸送計算コードのエネルギー群構造に応じた放射化断面積 σ_g を(3)式により求める必要がある。</p> $I = \sum_{g=1}^{g_{max}} \Phi_g \cdot \sigma_g \quad (2)$ $\sigma_g = \int_{E_i}^{E_{i+1}} \sigma(E) dE \quad (3)$ <p>また、ORIGEN2 コードで用いる1群縮約された放射化反応率 I は、(4)式により求められる。</p> $I = \Phi \cdot \langle \sigma \rangle \quad (4)$ <p>ここで、Φ は全中性子フルエンス率であり、$\langle \sigma \rangle$ は1群縮約された放射化断面積である。全中性子フルエンス率 Φ は、(5)式のとおり定義される。</p> $\Phi = \int \Phi(E) dE \approx \sum_{g=1}^{g_{max}} \Phi_g \quad (5)$ <p>よって、1群縮約された放射化断面積(σ)は、(1)、(2)、(4)、(5)式を用いて、(6)式により求めることが出来る。</p> $\langle \sigma \rangle = \frac{\int \Phi(E) \cdot \sigma(E) dE}{\int \Phi(E) dE} \approx \frac{\sum_{g=1}^{g_{max}} \Phi_g \cdot \sigma_g}{\sum_{g=1}^{g_{max}} \Phi_g} \quad (6)$ <p>一方、ORIGEN2 コード付属の放射化断面積ライブラリである ORLIBJ40^[1]での1群断面積の作成の式([1]文献の2-5式)は以下のとおりであり、(6)式と同じです。(σ_x^i)は放射化断面積、ψは中性子フルエンス率を表します。</p> $\langle \sigma_x^i \rangle = \frac{\int \sigma_x^i(E) \psi(E) dE}{\int \psi(E) dE} \approx \sum_{g=1}^{NG} \sigma_{x,g}^i \psi_g / \sum_{g=1}^{NG} \psi_g \quad (2-5)$ <p>なお、(6)式、(2-5)式共に左辺の積分に対して右辺ではΣとなっているが、近年の輸送計算では100~200群程度で取り扱っており、結果への影響は小さいものと考えられる。</p> <p>[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」JAEA-Data/Code2012-032</p>
(2)最新の計算コード及び放射化断面積ライブラリについて確認すると規定していますが、妥当性の確認方法を説明してください。	利用する計算コード及び放射化断面積ライブラリが最新のものであることを確認方法と放射化断面積ライブラリが変更された	利用する計算コード及び放射化断面積ライブラリが最新のものであることを確認方法と放射化断面積ライブラリが変更されたときの妥当性評価方法について、例を示して説明してください。		利用する計算コード及び放射化断面積ライブラリが最新のものであることの確認方法と放射化断面積ライブラリが変更されたときの妥当性評価方法の具体例について、更問1.(2)への回答に示します。

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
○「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				
	ときの妥当性評価方法について 具体的説明を求めたものです。		ライブラリが変更されたときの 妥当性評価例を 回答	<p>利用する計算コード及び核データ（放射化断面積ライブラリ）が最新であることの確認は、以下のウェブサイト参照して確認します。最新版が発行された際には、初期不具合等の報告が収束するのを確認してから使用します。</p> <p>計算コード：高度情報科学技術研究機構（RIST） 放射化断面積ライブラリ（核データ） ：日本原子力研究開発機構 核データ研究グループ 米国ブルックヘブン国立研究所 国際核データセンター（NNDC）</p> <p>放射化断面積ライブラリの変更された場合の妥当性評価については、発行元の文献にて妥当性評価を参照して確認します。</p> <p>例えば、ORIGEN2用のJENDL-4.0の放射化断面積が発行された際の文献[1]において、PWR使用済み燃料の照射後解析の結果（下図）から、実験値（E値）とORIGEN2による計算値（C値）との比較結果（C/E-1）を図に示しています。JENDL-4.0による計算結果（PWR41J40の結果：下図の赤い■）は、Cm-246, Cm-247では20～30%程度のずれがありますが、その他の核種については10%以内で実験値を再現していることが傾向分析されており、JENDL-3.3（PWR41J33）に比べてJENDL-4.0の予測精度が改善されていると評価されています。</p> <p>[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」JAEA-Data/Code2012-032</p>  <p>図3.4-7 高浜3号炉使用済み燃料組成の計算値(C)と実験値(E)との比較(その1)</p>

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
○「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				
				 <p>図 3.4-8 高浜3号炉使用済み燃料組成の計算値(C)と実験値(E)との比較(その2)</p>
<p>2. 「6.1.4 表面汚染の取扱い」 (1) 「6.1.4 表面汚染の取扱い」のまた書きにおいて、「除染しない場合は、放射化金属等の表面に付着した放射性物質の放射能濃度を評価し、必要に応じて理論計算法で決定した放射能濃度に加える。」と規定しています。除染しない場合に、放射化金属等の表面に付着した放射性物質の放射能濃度の評価結果を加える必要がない条件について説明してください。</p>	<p>中深度処分対象廃棄物の埋設に当たっては、廃棄体中に存在する放射能濃度を全て評価する必要がありますので、放射化計算による母材中の放射能濃度の評価に加え、表面汚染による放射能を加えなければなりません。表面汚染による影響が無視できるほど小さい場合には、表面汚染による放射能を加える必要がないと判断することができますが、表面汚染の影響を考慮する必要がない条件について定量的に示されていないため質問したものです。</p>	<p>質問に対して、「標準では、「必要に応じて理論計算法で決定した放射能濃度に加える。」とのみ規定しています。」と回答いただいておりますが、回答の意図が分かりません。質問は、「必要に応じて理論計算法で決定した放射能濃度に加える。」の、「必要に応じる」のはどのような場合か、というものです。 「必要に応じる」場合の判断基準が示されていないので定量的に説明してください。 なお、先日の検討チーム会合では、定量的な判断基準がないという回答でしたが、それが正式な回答である場合、技術評価結果は表面汚染を理論計算法で決定した放射能濃度に加えることとせざるを得ません。</p>	<p>現時点ではクラッドの影響がないと判断できる定量的な基準は提示できない。</p>	<p>ご指摘を踏まえて修正した第3回会合での回答を以下に示します。</p> <p>クラッドの影響がないと判断できる基準については、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。なお、標準では、主必要に応じて理論計算法で決定した放射能濃度に加える。」と規定しており、基本的には表面汚染による影響を加えて評価しますので、技術評価では表面汚染を理論計算法で決定した放射能濃度に加えることとすることについて問題はありません。</p> <p>表面汚染による影響を加えて評価する方法としては、主に以下の方法が考えられますが、具体的な方法については現時点では回答できません。</p> <ol style="list-style-type: none"> 放射化と表面汚染の放射能の比率を予め設定し、理論計算で決定した放射化放射能に、この比率を掛けて求めた表面汚染放射能を加える方法 事前の表面汚染分析、または、理論計算により表面汚染の放射能濃度を評価し、理論計算で決定した放射化放射能に加える方法

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
（一社）日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
○「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				
<p>(2) 「放射化金属等の表面に付着した放射性物質を十分に低減できるよう除染する」と記載されているが、「十分に低減できる」ことの判断基準を説明してください。</p>	<p>中深度処分対象廃棄物の埋設に当たっては、廃棄体中に存在する放射能濃度を全て評価する必要がありますので、放射化計算による母材中の放射能濃度の評価に加え、表面汚染による放射能を加えなければなりません。表面汚染による影響が無視できるほど小さい場合には、表面汚染による放射能を加える必要がないと判断することができますが、表面汚染の影響を考慮する必要がない条件について定量的に示されていないため質問したものです。</p>	<p>質問に対して、「十分に低減できている」ことの一例としても、回答2(1)の表面汚染分と放射化分の放射能比が参考になると考えます。」と回答いただいておりますが、「一例」を「参考」にしても「十分に低減できている」ことの判断基準の説明にはなっていません。 「放射化金属等の表面に付着した放射性物質を十分に低減できるよう除染する」場合に、「十分に低減できる」ことの判断基準を定量的に説明してください。 なお、先日の検討チーム会合では、定量的な判断基準がないという回答でしたが、それが正式な回答である場合、技術評価結果は表面汚染を理論計算法で決定した放射能濃度に加えることとせざるを得ません。</p>	<p>現時点ではクラッドの影響がないと判断できる定量的な基準は提示できない。</p>	<p>(前回答から続く) 上述のとおり、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、具体的な条件（判断基準）が定められ、その後の事業者による個別審査もしくは標準改定後に受ける技術評価の中で確認を受けるものと考えます。 標準の「放射化金属等の表面に付着した放射性物質を十分に低減できるよう除染する場合は、表面の汚染を考慮する必要はない」について、今回の技術評価では「除染後に残存する放射能に応じて放射能濃度に加える」と読み替えることに異存ありません。</p>
<p>3. 「附属書C」の随所にISO16966:2013のAnnex Bを参照していますが、「考え方及び手順が示されている」などの抽象的な記載では当該文献の何を参照しているか不明確なので、参照している範囲を説明してください。</p>	<p>附属書Cでは点推定法のための放射化計算の入力データ設定の推奨方法として、点推定法の放射化計算の実施手順を示しています。全ての項目についてISO16966:2013のAnnex Bに言及していますが、具体的な方法がAnnex Bと全く同じであるのか、それとも一部だけを参考にするのかが判断できないための質問です。</p>	<p>— (ここでの「参照」は「準拠」の意味で用いられたものであり、附属書CはAnnex B全体に準拠していることと理解しましたので、追加質問はありません。)</p>		<p>ISO標準のAnnex B全体が適用対象です。 なお、特定の部分を念頭に参照するとはいたしません。また、ISO標準の詳細内容については、転載許諾の制限で、現段階では学会として内容の詳細を示すことが出来ないため、原子力規制庁にて当該標準を参照願います。</p>
<p>4. 「G.1.1.3 起源元素の選定手順」の一次スクリーニングから四次スクリーニングまでの各スクリーニング項目の設定根拠を説明してください。</p>	<p>起源元素の選定で本来評価すべき元素が漏れてしまうと、中深度処分対象廃棄物の放射能濃度評価結果が低く評価されてしまいますので、スクリーニング手順の設定が妥当なものである必要があります。標準で示されたスクリーニング手順については原子力学会が独自に整備したものと理解しています。各スクリーニング項目の設定意図については標準内に記載されていますが、スクリーニング手順の妥当性をどのように判断したかが示されていないため、それを確認するための質問です。</p>	<p>質問に対して、各スクリーニング項目の設定意図を回答いただいておりますが、質問は設定「根拠」です。根拠が示されなければ、スクリーニング手順として妥当であるかどうか判断できません。 ①スクリーニング手順の設定に当たって参考にした事例（過去の許認可事例、海外事例等）の有無を示してください。 ②参考事例が有る場合はその方法が中深度処分対象廃棄物の起源元素の選定に適用できる根拠を示してください。</p>	<p>質問①回答可能 質問②回答可能</p>	<p>ご指摘の①～⑤の事項につきまして、以下に回答します。 ①起源元素のスクリーニングの手順の参考事例としては、浅地中処分の安全評価に適用されています。下記の事例（出典は表の注1参照）があります。 ・放射性物質の選定の考え方で「埋設処分の観点から考慮すべきである半減期30日以上放射性物質とし、希ガス及び生成量の極めて小さいものを除く170核種とする。」 ・原子炉構成材料の元素組成については、以下の方法で設定を行った。 「評価に使用する分析データについては、電気事業者が取得した分析データに加え、新型転換炉「ふげん」の構成材の元素分析データ及び国内外の文献における分析データを使用した。評価に使用した材料別の元素組成設定値を第3表に示す。ただし、希ガス元素及び安定同位体が天然に存在しない元素は除外した。」 ②上記の起源元素のスクリーニングの参考事例は、浅地中処分の許認可での事例ですが、ここでは、標準理解のために、具体的な起源元素の選定例として、L2許可の核種による評価例を示しているものです。実際には、将来のL1埋設の事業許可で対象とされる核種に基づいて、廃棄確認申請のために、起源元素の選定を行いますので、L1特有の核種が存在した場合でも対象から漏れることはあ</p>

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容															
○「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																			
		<p>③参考事例がない場合は、この設定項目で抜け漏れがないこと、スクリーニングの順番が前後することで評価結果が変わる可能性がないこと、その他起源元素の選定に関わる影響がないことをどのように判断したのか説明してください。</p> <p>また、スクリーニングの考え方として「対象とならない元素を除外する」旨の回答がされていますが、除外するための判断基準が記載されていません。</p> <p>①一次スクリーニングから四次スクリーニングにおける選定基準等を設定した根拠を示して下さい。また、当該スクリーニング方法を作成するに当たって参考にした文献等があれば提示してください。</p> <p>②一次スクリーニングにおいて放射性同位元素を除外して問題ない根拠を示して下さい。</p> <p>③二次スクリーニングにおける放射化計算条件を示して下さい。</p> <p>④三次スクリーニングの 1) から 6) について、「表 G. 5-三次スクリーニングで除外対象とできる元素例」に記載された以下の内容を説明してください。</p> <p>○「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のスラグとして大半は除去」と記載されているが、「大半」が除去されたことを定量的に示して下さい。また、元素を除去対象とできる根拠を説明してください。</p> <p>○「高炉の温度が 2000℃ 近くとなることを考慮すると、飢渴する可能性が高い」と記載されているが、「飢渴する可能性」がどの程度であるか定量的に示して下さい。また、元素を除去対象とできる根拠を説明してください。</p> <p>○「岩石・鉱物に微量含まれるが、希ガスが不純物として金属に混入する可能性は、低い」と記載されているが、「希ガスが不純物として金属に混入する可能性」がどの程度であるか定量的に示して下さい。また、元素を除去対象とできる根拠を説明してください。</p> <p>○「高炉における還元性雰囲気によって、精錬過程で除去」と記載されているが、「精錬過程で除去」される割合を定量的に示した上で、元素を除去対象とできる根拠を説明すること。</p>	質問③回答可能	<p>りません。なお、L2 廃棄体の規制核種の生成源は、炉内の腐食生成物、燃料であり、その核種の生成源は、L1 廃棄物と同様と考えております。</p> <p>③申請核種を生成する起源元素の選定に関しては、全 103 元素から出発しますが、「附属書 G の G. 1. 1. 2 の c) 起源元素の選定の考え方」に示しますように、起源元素の選定においてスクリーニングを行います。</p> <p>そのスクリーニングの考え方は、下記に理由を示しますように、まず、対象元素とならない「初期の起源元素でない放射性同位体（放射化による核種生成後の崩壊、照射による核種は計算の中に含まれる）」、「評価対象核種を生成しない元素」及び「材料の精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素」は除外し、加えて、「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」までを放射化計算の入力条件に含める必要はないことから除外するものです。</p> <p>なお、最初に、材料共通の条件として、評価対象物（中性子による放射化前のコールド材料が放射化計算の出発点である対象元素となります）に含まれない「放射性同位体」、及びそもそも放射化によっても評価対象核種を生成することのない元素は、その後の三次以降のスクリーニングを行う必要もないことから、初期の段階でスクリーニングを行うものです。</p> <p>次に、三次以降のスクリーニングは、生成量の評価を材料中に存在し評価対象核種を生成する可能性のある元素に対して行うために、材料の製造工程、化学的性質を考慮したスクリーニングを行い、生成した量の全体に占める割合を踏まえて、放射化計算の入力条件とすべき起源元素として選定する手順としています。</p> <table border="1" data-bbox="1774 982 2858 1476"> <thead> <tr> <th>スクリーニング</th> <th>理由・根拠</th> <th>適用除外</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>一次：初期の起源元素でない放射性同位体</td> <td>照射されていない炉内構造物の材料が放射化計算の出発点であるため、この材料に含まれない放射性同位体は起源元素から除外できる。¹⁾</td> <td>天然に広く存在する U, Th は除外しない</td> </tr> <tr> <td>二次：評価対象核種を生成しない元素</td> <td>全元素に対して、中性子照射によって生成する核種を計算評価²⁾し、放射化によっても評価対象核種を生成しない元素は除外できる。</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>三次：材料の精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素</td> <td>構造物の材料の製造過程の熱処理（精錬など）、化学処理（スラグ化、還元処理）によって受ける温度以下の沸点の元素は揮散、又は化学反応でスラグ等に移行させて除去されるため、除外できる。また、希ガス元素も除外できる¹⁾。</td> <td>添加される元素</td> </tr> <tr> <td>四次：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</td> <td>評価対象核種を生成する元素でも、その生成量が非常に少なく、総生成放射能に対する寄与が小さい元素は、除外できる。</td> <td>生成比 0.01 %³⁾以上の元素は除外しない。</td> </tr> </tbody> </table> <p>注 1 放射化計算の対象元素から放射性同位体を起源元素から除外している例としては、「補足説明資料 9 廃棄物埋設施設における許可基準規則への適合性について第十条 廃棄物埋設地のうち第四号(廃止措置の開始後の評価)線量評価パラメータ-パラメータ根拠集-2021 年 6 月 日本原燃株式会社の添付資料 2 総放射能の設定について」において、「評価に使用した材料別の元素組成設定値を第 3 表に示す。ただし、希ガス元素及び安定同位体が天然に存在しない元素は除外した。」と同様な適用を行っている。</p> <p>また、この原子炉構成材料の元素組成は、中深度処分対象廃棄物である。</p> <p>注 2 放射化計算条件は、計算コード：ORIGEN2.2, 断面積ライブラリ：PWR41J33, 照射時間：30y, 中性子フルエンス率：4.72×10¹⁴cm⁻²/s, 元素量：各元素とも等量(0.001kg)として、評価対象核種（ここでは、仮に¹⁴C, ³⁶Cl, ⁶⁰Co, ⁶³Ni, ⁹⁰Sr, ⁹⁴Nb, ⁹⁹Tc, ¹²⁹I, ¹³⁷Cs, 全 α を評価対象核種とした例で示している）</p> <p>注 3 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 桁であると想定し、これに推定存在濃度レベル評価の不確か性を考慮（1 桁を</p>	スクリーニング	理由・根拠	適用除外	一次：初期の起源元素でない放射性同位体	照射されていない炉内構造物の材料が放射化計算の出発点であるため、この材料に含まれない放射性同位体は起源元素から除外できる。 ¹⁾	天然に広く存在する U, Th は除外しない	二次：評価対象核種を生成しない元素	全元素に対して、中性子照射によって生成する核種を計算評価 ²⁾ し、放射化によっても評価対象核種を生成しない元素は除外できる。	—	三次：材料の精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素	構造物の材料の製造過程の熱処理（精錬など）、化学処理（スラグ化、還元処理）によって受ける温度以下の沸点の元素は揮散、又は化学反応でスラグ等に移行させて除去されるため、除外できる。また、希ガス元素も除外できる ¹⁾ 。	添加される元素	四次：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	評価対象核種を生成する元素でも、その生成量が非常に少なく、総生成放射能に対する寄与が小さい元素は、除外できる。	生成比 0.01 % ³⁾ 以上の元素は除外しない。
スクリーニング	理由・根拠	適用除外																	
一次：初期の起源元素でない放射性同位体	照射されていない炉内構造物の材料が放射化計算の出発点であるため、この材料に含まれない放射性同位体は起源元素から除外できる。 ¹⁾	天然に広く存在する U, Th は除外しない																	
二次：評価対象核種を生成しない元素	全元素に対して、中性子照射によって生成する核種を計算評価 ²⁾ し、放射化によっても評価対象核種を生成しない元素は除外できる。	—																	
三次：材料の精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素	構造物の材料の製造過程の熱処理（精錬など）、化学処理（スラグ化、還元処理）によって受ける温度以下の沸点の元素は揮散、又は化学反応でスラグ等に移行させて除去されるため、除外できる。また、希ガス元素も除外できる ¹⁾ 。	添加される元素																	
四次：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	評価対象核種を生成する元素でも、その生成量が非常に少なく、総生成放射能に対する寄与が小さい元素は、除外できる。	生成比 0.01 % ³⁾ 以上の元素は除外しない。																	

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																					
○「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																									
		<p>○ZrTN804D 及び SUS304 について記載されているが、その他の金属も同じ観点でスクリーニングが可能である理由とその根拠を説明してください。</p> <p>⑤（そもそも）2次スクリーニングで化学的性質等で除外する前に放射化計算する理由を説明してください。また、三次スクリーニングの前に二次スクリーニングする理由を説明してください。</p> <p>⑥四次スクリーニングにおいて生成比 0.01%未満の元素を除外して問題ない根拠を示してください。</p>		<p>想定) し、生成比 0.01 %未満（有効数字 5 桁以下に影響）とした。</p> <p>なお、標準には示しておりませんが、第3次スクリーニングにおける除外理由とその根拠に関して、下表に示します。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>元素を除去対象とできる根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>スラグとして除去 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のスラグとして大半は除去</td> <td> 化学反応による除去（反応式 $(S+3(CaO) = (CaS)+0)$、及び $(2P+3(CaO) + 5O=3(CaO \cdot P_2O_5))$ で示されるようにスラグ-メタル間の化学反応) のため反応が続きます。 なお、炭素鋼の例となりますが、副原料である石灰石（5~10%の配合 1)）の Ca（アルカリ金属類）に着目して、製鋼過程でスラグに移行せず鉄鋼中に残存する Ca は 0.0001%以下 1)、SUS304 で 0.0004% 2)であることを踏まえると、スラグに移行せず金属中に残る元素の残存率（製鋼中の Ca/原料中の Ca）は、$9E-5 \sim 2.6E-4$ 程度と考えられることから、十分低減できると考えます。 </td> </tr> <tr> <td>低沸点による揮発 高炉の温度が 2000℃近くとなることを考慮すると、飢渴する可能性が高い</td> <td> 材料によって、製造工程で受ける温度条件は異なるが、材料が製造中に受ける温度に対して元素の沸点（Rb : 688℃~Sb : 1,635℃）3)を比較することで、微量成分である沸点の低い元素の揮散の有無が確認できます。 また、鉄鋼の場合、高温での処理時間も高炉で約 1,500~2,000℃、約 6~8 時間に加え、転炉で約 1,200~1,600℃、30 分程度、SUS の精錬に適用されている VOD（Vacuum Oxygen Decarburization）で約 1,650℃、50~100 分程度 4)、と脱気に対しての十分な時間が掛けられています。 さらに、転炉に当たる SUS 及びジルカロイの溶解・精錬工程では、真空脱気又は Ar 吹込みによる脱気操作も加えられ、より脱気を容易にしています。 </td> </tr> <tr> <td>希ガス 岩石・鉱物に微量含まれるが、希ガスが不純物として金属に混入する可能性は、低い 5)</td> <td> 化学的に不活性なガス物質であり、溶鋼に溶解しないとして、溶存ガスや介在物の分離浮上を促進するためのパブリックガスとして多量に使用されていることから金属に混入する可能性は低い。 また、希ガスである Ar の炭素鋼への溶解度を評価した結果（$1.569E-8 \text{ cm}^3\text{-Ar}/\text{cm}^3\text{-Fe}(1580^\circ\text{C})$）6)を踏まえると、鉄鋼中の存在量は、$3.6E-10$ %程度であり、存在量としては無視できるレベルと考えられます。 </td> </tr> <tr> <td>希少元素 希少性が高く、不純物として金属に混入する可能性は、低い</td> <td> 希少元素（ルテニウム Ru）の白金族鉱物（Ru の主な産出源となる鉱物）及び地殻中の存在濃度の例を下表に示しますが、主に白金族鉱石に含まれて、採掘される Ru は、その鉱石中の濃度も低く、微量元素として存在する地殻中の濃度は、さらに低いことから、SUS などの原料に含まれる不純物（制限値は最も低い U で 3.5 ppm）として混入する濃度も同様に低いと考えられます。 </td> </tr> <tr> <td></td> <td> <table border="1"> <thead> <tr> <th>白金族鉱石 7)</th> <th>SUS304 分析 2)</th> <th>地殻 8)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.18~57.75 ppm</td> <td><1 ppm</td> <td>0.01 ppm</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> <tr> <td></td> <td>還元性雰囲気による除去</td> <td>化学反応による除去（炭素による熱還元 Fe :</td> </tr> </tbody> </table>	項目	元素を除去対象とできる根拠	スラグとして除去 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のスラグとして大半は除去	化学反応による除去（反応式 $(S+3(CaO) = (CaS)+0)$ 、及び $(2P+3(CaO) + 5O=3(CaO \cdot P_2O_5))$ で示されるようにスラグ-メタル間の化学反応) のため反応が続きます。 なお、炭素鋼の例となりますが、副原料である石灰石（5~10%の配合 1)）の Ca（アルカリ金属類）に着目して、製鋼過程でスラグに移行せず鉄鋼中に残存する Ca は 0.0001%以下 1)、SUS304 で 0.0004% 2)であることを踏まえると、スラグに移行せず金属中に残る元素の残存率（製鋼中の Ca/原料中の Ca）は、 $9E-5 \sim 2.6E-4$ 程度と考えられることから、十分低減できると考えます。	低沸点による揮発 高炉の温度が 2000℃近くとなることを考慮すると、飢渴する可能性が高い	材料によって、製造工程で受ける温度条件は異なるが、材料が製造中に受ける温度に対して元素の沸点（Rb : 688℃~Sb : 1,635℃）3)を比較することで、微量成分である沸点の低い元素の揮散の有無が確認できます。 また、鉄鋼の場合、高温での処理時間も高炉で約 1,500~2,000℃、約 6~8 時間に加え、転炉で約 1,200~1,600℃、30 分程度、SUS の精錬に適用されている VOD（Vacuum Oxygen Decarburization）で約 1,650℃、50~100 分程度 4)、と脱気に対しての十分な時間が掛けられています。 さらに、転炉に当たる SUS 及びジルカロイの溶解・精錬工程では、真空脱気又は Ar 吹込みによる脱気操作も加えられ、より脱気を容易にしています。	希ガス 岩石・鉱物に微量含まれるが、希ガスが不純物として金属に混入する可能性は、低い 5)	化学的に不活性なガス物質であり、溶鋼に溶解しないとして、溶存ガスや介在物の分離浮上を促進するためのパブリックガスとして多量に使用されていることから金属に混入する可能性は低い。 また、希ガスである Ar の炭素鋼への溶解度を評価した結果（ $1.569E-8 \text{ cm}^3\text{-Ar}/\text{cm}^3\text{-Fe}(1580^\circ\text{C})$ ）6)を踏まえると、鉄鋼中の存在量は、 $3.6E-10$ %程度であり、存在量としては無視できるレベルと考えられます。	希少元素 希少性が高く、不純物として金属に混入する可能性は、低い	希少元素（ルテニウム Ru）の白金族鉱物（Ru の主な産出源となる鉱物）及び地殻中の存在濃度の例を下表に示しますが、主に白金族鉱石に含まれて、採掘される Ru は、その鉱石中の濃度も低く、微量元素として存在する地殻中の濃度は、さらに低いことから、SUS などの原料に含まれる不純物（制限値は最も低い U で 3.5 ppm）として混入する濃度も同様に低いと考えられます。		<table border="1"> <thead> <tr> <th>白金族鉱石 7)</th> <th>SUS304 分析 2)</th> <th>地殻 8)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.18~57.75 ppm</td> <td><1 ppm</td> <td>0.01 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	白金族鉱石 7)	SUS304 分析 2)	地殻 8)	0.18~57.75 ppm	<1 ppm	0.01 ppm		還元性雰囲気による除去	化学反応による除去（炭素による熱還元 Fe :
項目	元素を除去対象とできる根拠																								
スラグとして除去 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のスラグとして大半は除去	化学反応による除去（反応式 $(S+3(CaO) = (CaS)+0)$ 、及び $(2P+3(CaO) + 5O=3(CaO \cdot P_2O_5))$ で示されるようにスラグ-メタル間の化学反応) のため反応が続きます。 なお、炭素鋼の例となりますが、副原料である石灰石（5~10%の配合 1)）の Ca（アルカリ金属類）に着目して、製鋼過程でスラグに移行せず鉄鋼中に残存する Ca は 0.0001%以下 1)、SUS304 で 0.0004% 2)であることを踏まえると、スラグに移行せず金属中に残る元素の残存率（製鋼中の Ca/原料中の Ca）は、 $9E-5 \sim 2.6E-4$ 程度と考えられることから、十分低減できると考えます。																								
低沸点による揮発 高炉の温度が 2000℃近くとなることを考慮すると、飢渴する可能性が高い	材料によって、製造工程で受ける温度条件は異なるが、材料が製造中に受ける温度に対して元素の沸点（Rb : 688℃~Sb : 1,635℃）3)を比較することで、微量成分である沸点の低い元素の揮散の有無が確認できます。 また、鉄鋼の場合、高温での処理時間も高炉で約 1,500~2,000℃、約 6~8 時間に加え、転炉で約 1,200~1,600℃、30 分程度、SUS の精錬に適用されている VOD（Vacuum Oxygen Decarburization）で約 1,650℃、50~100 分程度 4)、と脱気に対しての十分な時間が掛けられています。 さらに、転炉に当たる SUS 及びジルカロイの溶解・精錬工程では、真空脱気又は Ar 吹込みによる脱気操作も加えられ、より脱気を容易にしています。																								
希ガス 岩石・鉱物に微量含まれるが、希ガスが不純物として金属に混入する可能性は、低い 5)	化学的に不活性なガス物質であり、溶鋼に溶解しないとして、溶存ガスや介在物の分離浮上を促進するためのパブリックガスとして多量に使用されていることから金属に混入する可能性は低い。 また、希ガスである Ar の炭素鋼への溶解度を評価した結果（ $1.569E-8 \text{ cm}^3\text{-Ar}/\text{cm}^3\text{-Fe}(1580^\circ\text{C})$ ）6)を踏まえると、鉄鋼中の存在量は、 $3.6E-10$ %程度であり、存在量としては無視できるレベルと考えられます。																								
希少元素 希少性が高く、不純物として金属に混入する可能性は、低い	希少元素（ルテニウム Ru）の白金族鉱物（Ru の主な産出源となる鉱物）及び地殻中の存在濃度の例を下表に示しますが、主に白金族鉱石に含まれて、採掘される Ru は、その鉱石中の濃度も低く、微量元素として存在する地殻中の濃度は、さらに低いことから、SUS などの原料に含まれる不純物（制限値は最も低い U で 3.5 ppm）として混入する濃度も同様に低いと考えられます。																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>白金族鉱石 7)</th> <th>SUS304 分析 2)</th> <th>地殻 8)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.18~57.75 ppm</td> <td><1 ppm</td> <td>0.01 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	白金族鉱石 7)	SUS304 分析 2)	地殻 8)	0.18~57.75 ppm	<1 ppm	0.01 ppm																		
白金族鉱石 7)	SUS304 分析 2)	地殻 8)																							
0.18~57.75 ppm	<1 ppm	0.01 ppm																							
	還元性雰囲気による除去	化学反応による除去（炭素による熱還元 Fe :																							

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
○「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				
				<p>高炉における還元性雰囲気によって、精錬過程で除去</p> <p>Fe₂O₃→高炉(過剰還元)→転炉(部分酸化)→粗鋼 フェロアロイ(Fe-M合金, M: Ni, Cr, Si, Mn): (Fe, M)O_x→電気炉→粗Fe-M合金 脱硫: (CaO) + [S] = (CaS) + [O] 又は (CaO) + [S] + [C] = (CaS) + CO のため、反応物質が十分であれば反応が続きます。 また、鋼質の向上を図るためには、精錬過程における溶鋼の脱酸、脱硫管理が重要で管理されており、溶鋼中の酸素濃度は脱酸、脱硫後で1E-3~4E-3%程度との文献9)もあり、十分に除去されると考えられます。</p> <p>注1 鉄鋼の原料: 社団法人日本鉄鋼連盟, https://www.jisf.or.jp/kids/shiraberu/03.html 及び JSS 日本鉄鋼認証標準物質一覧, 日本鉄鋼連盟 標準化センター</p> <p>注2 「ふげん」発電所の主要構造材元素組成分析, 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 9, No. 4, p. 405~418 (2010)</p> <p>注3 化学便覧 第六版 日本化学会編</p> <p>注4 ステンレス鋼便覧-第3版- ステンレス協会編</p> <p>注5 希ガス元素を起源元素から除外している例としては、 「補足説明資料9 廃棄物埋設施設における許可基準規則への適合性について第十条 廃棄物埋設地のうち第四号(廃止措置の開始後の評価)線量評価パラメータパラメータ根拠集-2021年6月 日本原燃株式会社の添付資料2 総放射能の設定について」において、「評価に使用した材料別の元素組成設定値を第3表に示す。ただし、希ガス元素及び安定同位体が天然に存在しない元素は除外した。」と同様な適用を行っている。</p> <p>注6 北大 石井ら, 熔融鉄中のアルゴン溶解度と添加元素効果, 科学研究費助成事業1994年度</p> <p>注7 世界のPGM資源の探査・開発・技術動向の調査・情報提供事業, 国際鉍物資源開発協力協会, 平成16年3月 岸本, 資料 ソ連の白金鉱床, 地質調査所月報(第26巻第3号) Platinum-Group Elements in Sulphide Minerals, Platinum-Group Minerals, and Whole-Rocks of the Merensky Reef (Bushveld Complex, South Africa): Implications for the Formation of the Reef, JOURNAL OF PETROLOGY, Vol. 48, No. 8, 2007</p> <p>注8 中川, レアメタルテクニク: (2) 白金族元素, 資源地質, 60(2), 2010</p> <p>注9 材料設計技術研究所, 鋼中の酸素濃度と酸素分圧について, 平成25年, 及び LD-AOD法によるステンレス鋼製造法, 鉄と鋼, 67(1981)</p> <p>G.1.1.2 起源元素の選定の前提条件 (略)</p> <p>c) 起源元素の選定の考え方 評価対象とする放射化金属等の種類(材料)ごとに、6.1.2.2.1に示した次の考え方を踏まえ、選定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> — 最初の起源元素は、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(評価対象核種と関連させるKey核種を含む)を生成する元素は、起源元素として抽出する。 なお、抽出した起源元素は、次のステップ(全て又はいずれか)によって、対象からスクリーニングすることができる。 — 放射性同位体は、起源元素から除外できる。ただし、天然に広く存在し、種々の放射性核種の起源元素となるTh及びUは、除外しない。(以下、一次スクリーニングという。) — 評価対象核種を生成しない元素は、起源元素から除外できる。(以下、二次スクリーニングという。) — 材料の精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素は、起源元素から除外できる。ただし、対象物の範囲及び評価によっては、完全に除去されず、放射

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容										
○「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														
				<div data-bbox="1795 338 2813 436" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 化計算に考慮した方が良い元素もある。(以下、三次スクリーニングという。) - 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。(以下、四次スクリーニングという。) </div> <p data-bbox="1754 499 2481 533">補足1: 二次スクリーニングにおける放射化計算条件の設定根拠</p> <div data-bbox="1754 569 2813 688" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 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2 放射化計算条件は、計算コード:ORIGEN2.2, 断面積ライブラリ:PWR41J33, 照射時間:30y, 中性子フルエンス率:4.72×10¹⁴cm⁻²/s, 元素量:各元素とも等量(0.001kg) </div> <p data-bbox="1754 737 2890 810">下記のような考え方で、中性子フルエンス率が比較的高いPWRプラントの条件で、起源元素のスクリーニング用の放射化計算条件を設定しています。</p> <ol data-bbox="1754 856 2890 1220" style="list-style-type: none"> ① 断面積ライブラリ:PWR41J33 ORLIBJ33のライブラリでJENDL-3.3に基づいたORIGEN2用断面積ライブラリです。 https://wwwndc.jaea.go.jp/jendl/j33/j33appli/orlibj33.html ② 照射時間:30y 40年間稼働(設備利用率を約80%)を想定した正味照射時間は、約30年間に相当するものです。 ③ 中性子フルエンス率:4.72×10¹⁴cm⁻²/s, 下記の燃料の燃焼条件での燃焼時に発生する中性子フルエンス率の変化を踏まえ、平均値で設定したものです。 <div data-bbox="1804 1262 2813 1633" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <table data-bbox="1813 1268 2300 1507"> <tr><td>評価条件:</td><td></td></tr> <tr><td>燃料:</td><td>U 1000 kg [濃縮度 4.1 wt%]</td></tr> <tr><td>比出力:</td><td>54 MW/tU 一定</td></tr> <tr><td>最大燃焼度:</td><td>44,000 MWd/tU</td></tr> <tr><td>断面積ライブラリ:</td><td>PWR41J33</td></tr> </table> <div data-bbox="2398 1283 2715 1577" style="text-align: center;"> <p>中性子束の燃焼度依存性</p> </div> <p data-bbox="2418 1598 2715 1627" style="text-align: center;">平均値: 4.72×10¹⁴cm⁻²/s</p> </div> <ol data-bbox="1754 1682 2890 1797" style="list-style-type: none"> ④ 元素量は、放射化計算による核種生成の有無を評価する目的としていることと、4次スクリーニングで材料別の各元素の推定存在濃度レベルを基に生成比を評価するため、一律1gでの評価としています。 <p data-bbox="1754 1864 2184 1898">補足2: 右側数字2桁と3桁での違い</p>	評価条件:		燃料:	U 1000 kg [濃縮度 4.1 wt%]	比出力:	54 MW/tU 一定	最大燃焼度:	44,000 MWd/tU	断面積ライブラリ:	PWR41J33
評価条件:														
燃料:	U 1000 kg [濃縮度 4.1 wt%]													
比出力:	54 MW/tU 一定													
最大燃焼度:	44,000 MWd/tU													
断面積ライブラリ:	PWR41J33													

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																					
○「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																									
				<p>「有効数字は2桁で、かつ切り上げて評価値を決める」ことで規定していますので、このレベルに影響を与えない「生成比0.01%未満」でスクリーニングすることで問題はないと考えております。なお、有効数字3桁とした場合でも、3桁目を切り上げて有効数字2桁とした結果で保守的にカバーされると考えます。</p> <p>また、親元素は全103元素から始めており、かつ、規制される申請核種を生成しない元素は、1次スクリーニングを行わず、対象に加えて放射化計算を行っても起源元素の対象から落ちることになりますので、結果としては同じになると考えております。</p> <p>補足3： <u>どの程度揮散するのか</u></p> <p>沸点以上の温度を長時間加えることで、揮散すると考えておりますが、揮散量までを示すことは難しいため、下表に示す元素に関しての鉄鋼中の存在量から、低沸点の元素は、ほとんど揮散すると考えられます。</p> <table border="1" data-bbox="1742 793 2890 955"> <thead> <tr> <th></th> <th>Rb</th> <th>Sr</th> <th>Sb</th> <th>Te</th> <th>Cs</th> <th>Ba</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SUS304¹⁾</td> <td>0.00003 %</td> <td>0.00042 %</td> <td>0.0012 %</td> <td><0.00001 %</td> <td><0.000005 %</td> <td>0.00002 %</td> </tr> <tr> <td>高純度鉄 3種²⁾</td> <td>—</td> <td>—</td> <td><0.0002 %</td> <td><0.0001 %</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>出典1：「ふげん」発電所の主要構造材元素組成分析，日本原子力学会和文論文誌，Vol. 9, No. 4, p. 405～418 (2010) 出典2：JSS 日本鉄鋼認証標準物質一覧，日本鉄鋼連盟 標準化センター</p> <p>補足4： <u>金属も同じ観点でスクリーニングが可能である理由</u></p> <p>下記の回答に示しましたスクリーニングの基本的な考え方は、汎用的な考え方を示しており、特定の材料（ジルカロイ、SUS）に限ったものではないと考えております。ただし、影響の程度は、個別審査で確認することになると考えます。</p> <p>前述の回答部分の再掲</p> <p>そのスクリーニングの考え方は、下記に理由を示しますように、まず、対象元素とならない「初期の源元素でない放射性同位体（放射化による核種生成後の崩壊、照射による核種は計算の中に含まれる）」「評価対象核種を生成しない元素」及び「材料の精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素は除外し、加えて、「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」までを放射化計算の入条件に含める必要はないことから除外するものです。</p> <p>なお、最初に、材料共通の条件として、評価対象物（中性子による放射化前のコールド材料が放射化計算の出発点である対象元素となります）に含まれない「放射性同位体」、及びそもそも放射化によって評価対象核種を生成することのない元素は、その後の三次以降のスクリーニングを行う必要もないことから、初期の段階でスクリーニングを行うものです。</p> <p>次に、三次以降のスクリーニングは、生成量の評価を材料中に存在し評価対象核種を生成する可能性ある元素に対して行うために、材料の製造工程、化学的性質を考慮したスクリーニングを行い、生成した量の全体に占める割合を踏まえて、放射化計算の入条件とすべき起源元素として選定する手順とされています。</p>		Rb	Sr	Sb	Te	Cs	Ba	SUS304 ¹⁾	0.00003 %	0.00042 %	0.0012 %	<0.00001 %	<0.000005 %	0.00002 %	高純度鉄 3種 ²⁾	—	—	<0.0002 %	<0.0001 %	—	—
	Rb	Sr	Sb	Te	Cs	Ba																			
SUS304 ¹⁾	0.00003 %	0.00042 %	0.0012 %	<0.00001 %	<0.000005 %	0.00002 %																			
高純度鉄 3種 ²⁾	—	—	<0.0002 %	<0.0001 %	—	—																			

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																						
○「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																										
5. 「G.1.2.3.1 元素成分条件の設定方式の選定例」で「評価対象とする放射化金属等の元素成分条件の設定方式は、収集した元素成分データ及び放射能濃度決定方法の種類に応じて、次のいずれかが選択できる。」として、評価対象とする放射化金属等の代表的な元素成分データ（元素成分データの平均値など）で設定する方式と評価対象とする放射化金属等の元素成分データ群によって濃度分布を設定する方式が挙げられていますが、その使い分けあるいは評価手法の同等性について説明してください。		－ (点推定法と区間推定法で使い分けがあると理解しました。)		<p>元素成分条件の選定する設定する方式（附属書Gの表G.9参照）には、次の2種類を標準では規定していますが、次のように理論計算の種類によって、使い分けを行うことになります。</p> <p>－ 点推定法の場合 評価対象とする放射化金属等の代表的な元素成分データ（代表値）で設定する次の方式： ・ 代表分析値： 同一ロットの品質サンプルなどの元素分析値を適用する方法（対象物を個別に評価する場合は想定される） ・ 分析データ群： 元素成分の分析データ群の平均値、最大値を適用する方法（対象廃棄物グループを評価する場合は想定される）</p> <p>－ 区間推定法の場合 評価対象とする放射化金属等の元素成分データ群によって濃度分布を設定する方式： ・ 分析データ群の代表分析値： 複数の同一種類及び品質の元素成分データの濃度分布を使用し、この分布から平均値、最大値を適用する方法 ・ 分析データ群： 複数の同一種類及び品質の元素成分データの濃度分布を使用し、この分布からランダムサンプリングを適用</p> <p>また、双方の元素成分条件の設定方式は、評価対象の放射能（最大放射能濃度又は放射能）に応じて設定するものであり、同等性を求めたものではありません。 ただし、それぞれの評価する放射能（最大放射能濃度及び総放射能）に対して、下表に示します元素データを使用します。</p> <table border="1" data-bbox="1804 1045 2825 1276"> <thead> <tr> <th></th> <th>最大放射能濃度</th> <th>総放射能</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>点推定法</td> <td>・ 元素分析データ群の最大値</td> <td>・ 元素の代表分析値 ・ 元素分析データ群の平均値</td> </tr> <tr> <td>区間推定法</td> <td>・ 元素分析データ群の最大値 ・ 元素分析データ群の分布からランダムサンプリングによる設定（信頼上限値）</td> <td>・ 元素分析データ群の分布からランダムサンプリングによる設定（平均値） ・ 元素分析データ群の分布から平均値</td> </tr> </tbody> </table> <p>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</p> <table border="1" data-bbox="1780 1339 2849 1680"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2"></th> <th colspan="2">元素成分データの種類</th> </tr> <tr> <th>代表分析値</th> <th>分析データ群</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">元素成分条件の設定方式</td> <td>代表値^{a)}による設定</td> <td>評価対象とする放射化金属等ごとの点推定法^{a)}の場合： 同一ロットの品質サンプル又は実物の元素分析値。</td> <td>評価対象とする放射化金属等ごとの点推定法^{a)}の場合： 複数の同一種類、品質の元素成分データの平均値など。</td> </tr> <tr> <td>濃度分布^{b)}による設定</td> <td>－</td> <td>濃度比法、換算係数法を用いる場合^{c)}、濃度分布評価法を用いる場合： 複数の同一種類及び品質の元素成分データの濃度分布。</td> </tr> </tbody> </table> <p>注^{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。 注^{b)} 放射化計算を複数実施し、評価対象とする放射化金属等の放射能濃度、又は濃度比の分布を把握するために、評価対象とする放射化金属等の元素濃度分布を実態の範囲を考慮して、元素ごとに複数の濃度（放射化計算の条件）を設定することを意味する。 注^{c)} 係数法を用いる場合は、設定した濃度分布によって各元素の代表値（起源元素ごと）を設定する。</p>		最大放射能濃度	総放射能	点推定法	・ 元素分析データ群の最大値	・ 元素の代表分析値 ・ 元素分析データ群の平均値	区間推定法	・ 元素分析データ群の最大値 ・ 元素分析データ群の分布からランダムサンプリングによる設定（信頼上限値）	・ 元素分析データ群の分布からランダムサンプリングによる設定（平均値） ・ 元素分析データ群の分布から平均値			元素成分データの種類		代表分析値	分析データ群	元素成分条件の設定方式	代表値 ^{a)} による設定	評価対象とする放射化金属等ごとの点推定法 ^{a)} の場合： 同一ロットの品質サンプル又は実物の元素分析値。	評価対象とする放射化金属等ごとの点推定法 ^{a)} の場合： 複数の同一種類、品質の元素成分データの平均値など。	濃度分布 ^{b)} による設定	－	濃度比法、換算係数法を用いる場合 ^{c)} 、濃度分布評価法を用いる場合： 複数の同一種類及び品質の元素成分データの濃度分布。
	最大放射能濃度	総放射能																								
点推定法	・ 元素分析データ群の最大値	・ 元素の代表分析値 ・ 元素分析データ群の平均値																								
区間推定法	・ 元素分析データ群の最大値 ・ 元素分析データ群の分布からランダムサンプリングによる設定（信頼上限値）	・ 元素分析データ群の分布からランダムサンプリングによる設定（平均値） ・ 元素分析データ群の分布から平均値																								
		元素成分データの種類																								
		代表分析値	分析データ群																							
元素成分条件の設定方式	代表値 ^{a)} による設定	評価対象とする放射化金属等ごとの点推定法 ^{a)} の場合： 同一ロットの品質サンプル又は実物の元素分析値。	評価対象とする放射化金属等ごとの点推定法 ^{a)} の場合： 複数の同一種類、品質の元素成分データの平均値など。																							
	濃度分布 ^{b)} による設定	－	濃度比法、換算係数法を用いる場合 ^{c)} 、濃度分布評価法を用いる場合： 複数の同一種類及び品質の元素成分データの濃度分布。																							

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容									
○「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													
				<p><u>補足：換算係数法の元素成分条件の設定方式と設定例について</u> 換算係数法を用いる場合の元素成分条件の設定方式については、附属書表 G.9 の組み合わせの例に示すように、分析データ群と濃度分布による設定の組み合わせとなります。表 G.9 注[○]「換算係数法を用いる場合は、設定した濃度分布によって各元素の代表値（起源元素ごと）を設定する。」の具体例としては、平均放射能濃度（総放射能濃量）を求める計算例として附属書 J.2.2.1b) に分析データの平均値を設定する例があります。</p> <p>なお、換算係数法の元素成分条件の設定方式について、附属書 J は平均放射能濃度を評価する例を示しているため代表値で設定していますが、標準では代表値、ランダムサンプリングどちらでも設定可能としており、最大放射能濃度の評価では入力条件をランダムサンプリングとすることを考えています。</p>									
6. 「G.2.1 概要」の中性子条件の設定方法について、「個別に条件設定する方法」と「代表条件を設定する方法」の評価結果の同等性を説明してください。		－ (最大放射能濃度の算出に限定して技術評価を行うこととしましたので、現時点ではこれ以上の説明は不要です。)		<p>中性子条件の設定について、個別の評価対象ごとに詳細設定する場合と複数の評価対象を代表する適切（平均的）又は放射能濃度を大きくするよう保守側に条件設定する場合とでは、以下に示す CB、制御棒などの例のとおり、中性子条件の設定の考え方が異なりますが、いずれにおいても適用する保守性のとりかたによって保守的な評価結果となり、その観点において同等となります。</p> <p>個別設定：複数の照射履歴をもつ同種の放射化金属（CB、制御棒など）について、照射履歴が特定される個別の評価対象ごとに、個別の中性子フルエンス率、スペクトルを設定する。</p> <p>代表設定：複数の照射履歴をもつ同種の放射化金属（CB、制御棒など）について、複数の評価対象を代表する適切（平均的）又は放射能濃度を大きくするよう保守側に条件設定する。</p>									
7. 「H.2.2 元素濃度データの収集方法」 (1) 「a) データ収集方法」に、「元素濃度データは、検出困難元素の特性などを考慮した種類を、可能な限り広範な産地から、収集する。」とありますが、どのような特性を考慮に入れることを想定しているか説明してください。	検出困難元素の濃度分布を評価するに当たり、実機構成材の元素分析データ以外の、鉱物、岩石などからの試料の標準偏差を適用する場合に、その標準偏差が実機構成材のものと同等であることは、分布の妥当性を示すために重要です。鉱物、岩石などからの試料については、「元素濃度データは、検出困難元素の特性などを考慮した種類を、可能な限り広範な産地から、収集する。」とありますが、「検出困難元素の特性などを考慮した種類」の判断基準が示されておらず、妥当性を判断出来ないための質問です。	質問に対して、検出困難元素の特性として「化学的性質」と「放射化金属等の原鉱物及び製錬工程における熱及び化学的影響」を踏まえる旨回答いただいておりますが、具体的例示は「放射化金属等の原鉱物及び製錬工程における化学的影響」のみに留まっています。このうち、「化学的性質」「放射化金属等の原鉱物及び製錬工程における熱的影響」として踏まえるべき内容を具体的に示してください。	回答可能	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p>まず、どのような特性を考慮に入れるかに関しては、元素濃度データの収集対象とする「鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データ」は、検出困難元素の特性として、「化学的性質」、「放射化金属等の原鉱物及び精錬工程における熱及び化学的影響¹⁾」を踏まえて、天然の鉱物、岩石、精錬後の金属から広く収集することを基本としています。</p> <p>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 $S+3(CaO)=(CaS)+O$、及び $(2P+3(CaO)+5O=3(CaO\cdot P_2O_5))$ 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))</p> <p>次に、上記の「化学的性質」の考慮すべき内容としては、起源元素の属する周期上の同じ族としての性質、や製造時に受ける化学反応（酸化・還元、スラグ化）に対する性質があげられます。ただし、検出困難元素の濃度分布評価は、『「同一の元素」又は「化学的性質が類似した元素」』への適用を想定していますが、今回の適用事例及び将来的な適用計画においては、「同一元素」のみでの適用を考えております。</p> <p>さらに、「放射化金属等の原鉱物及び精錬工程における熱的影響」の考慮すべき内容は、放射化金属等の母材となるまでの製造工程で受ける表 7(1)-1 のような温度履歴の影響（図 H.18 及び図 H.19 などから作成）があります。</p> <p style="text-align: center;">表 7(1)-1 材料製造工程中に受ける温度履歴</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>SUS の場合</th> <th>ZrTN804D の場合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>原材料・銑鉄工程</td> <td>熔融還元：約 1,200～約 2,000℃</td> <td>－</td> </tr> <tr> <td>溶解・精錬工程</td> <td>溶銑：約 1,500～約 1,650℃</td> <td>一次塩化：約 1,000～1,300℃</td> </tr> </tbody> </table>		SUS の場合	ZrTN804D の場合	原材料・銑鉄工程	熔融還元：約 1,200～約 2,000℃	－	溶解・精錬工程	溶銑：約 1,500～約 1,650℃	一次塩化：約 1,000～1,300℃
	SUS の場合	ZrTN804D の場合											
原材料・銑鉄工程	熔融還元：約 1,200～約 2,000℃	－											
溶解・精錬工程	溶銑：約 1,500～約 1,650℃	一次塩化：約 1,000～1,300℃											

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
----	-------------	-----------------------	-------	--------

○「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

				真空蒸留分解： 約 900～950℃ 真空溶解： 1, 727℃以上
加工工程			熱間圧延：約 1, 100～1, 250℃	鍛造： 約 850～950℃ 熱間押出： 約 650～880℃

また、「炉内構造物として使用されている材料」の分析できた元素濃度分布が示す標準偏差と「鉱物、岩石などからの試料」の元素濃度データが示す標準偏差について、炉内構造物として使用されている材料（SUS）で分析可能であったMo及びNbに関して、下図7(1)-1（Moの例）のように比較しており、標準偏差では、「鉱物、岩石などからの試料」の方が小さく、検出下限値以下の元素濃度分布に適用する設定する標準偏差としては、分布をより狭く評価することとなるため、過小評価になる分布とはならないと考えられます。

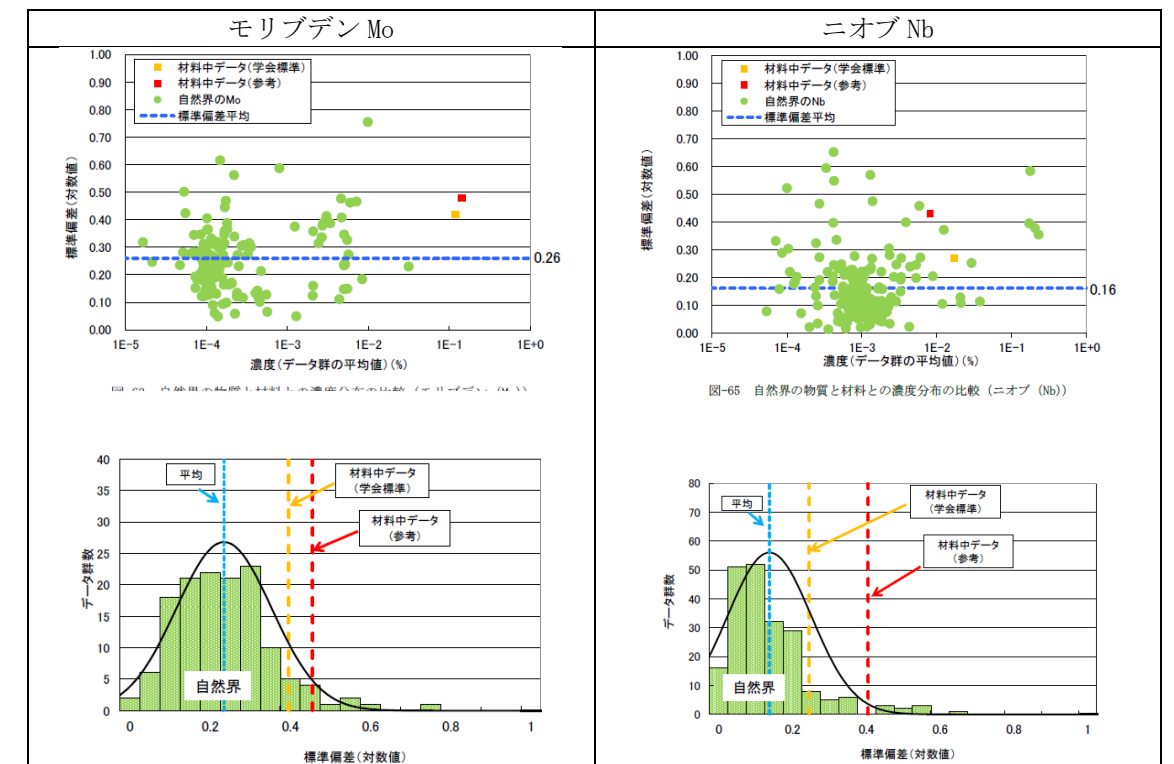


図7(1)-1 自然界の物質と材料との分布の標準偏差の比較

注記 「材料中データ（参考）」は8件の一般文献で収集したSUS304の元素データ
 出典 北海道電力株式会社ほか、「平成25年度 検出困難元素の濃度分布評価について」, 平成26年7月

補足：☐元素に対する適用に関して

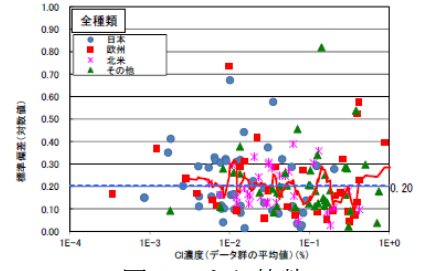
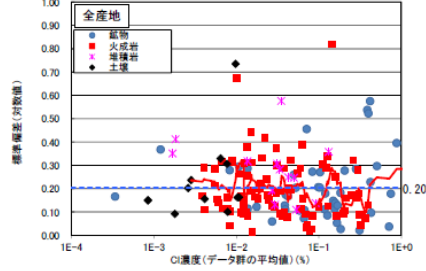
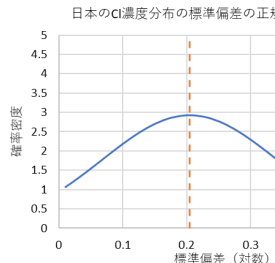
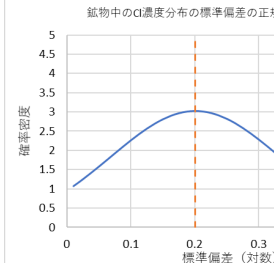
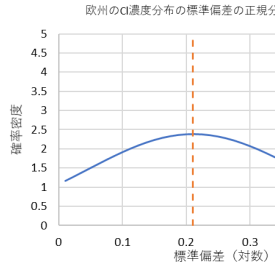
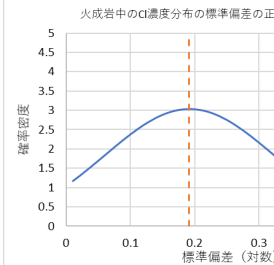
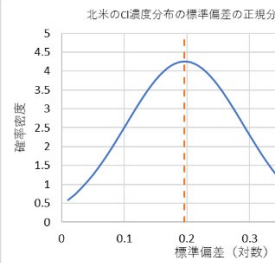
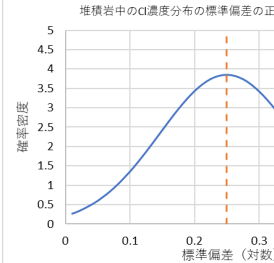
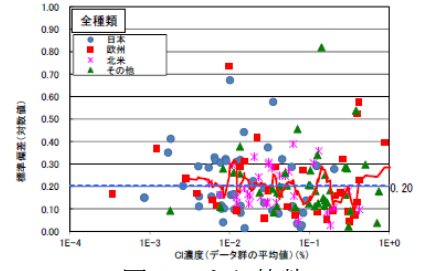
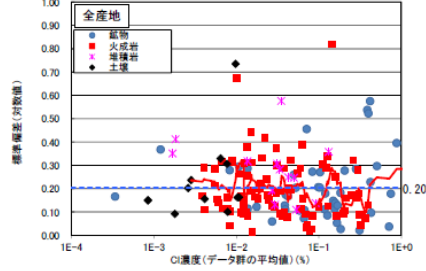
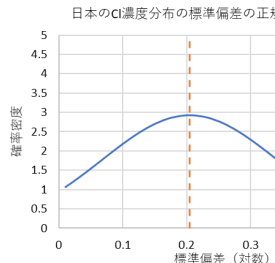
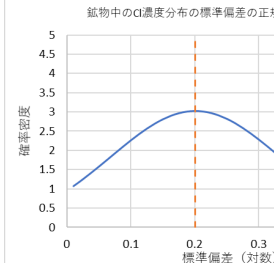
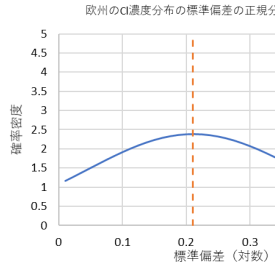
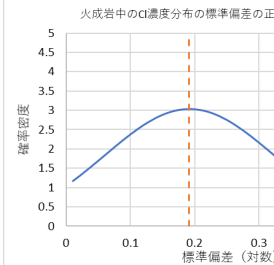
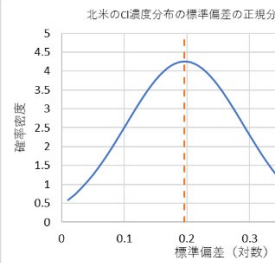
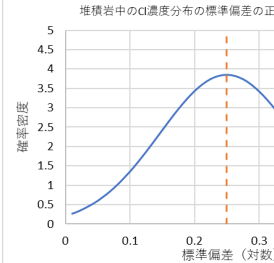
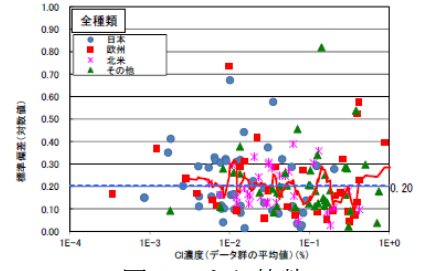
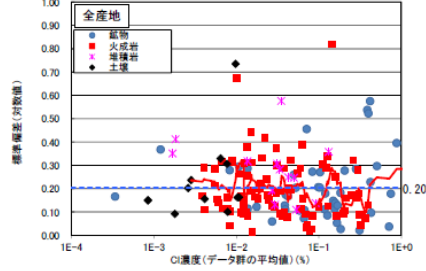
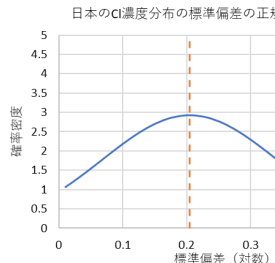
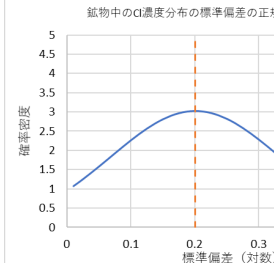
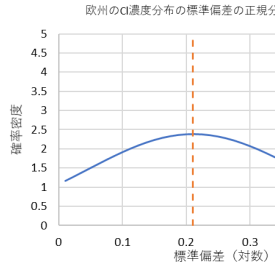
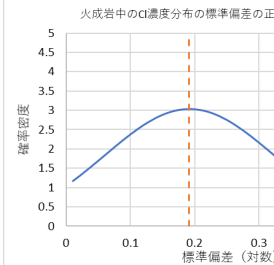
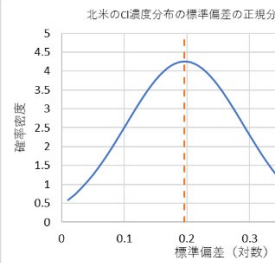
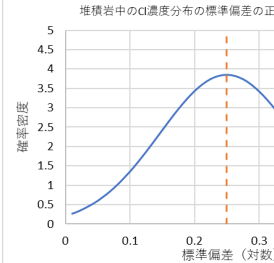
- ①「化学的性質が類似した元素」への適用は、現状、具体的にはありません。全て、同一元素に対しての適用を想定しています。
- ②他の金属などに関する熱的影響に関しては、個別審査で確認するものと考えております。
- ③材料製造工程中に受ける温度履歴の出典は、以下に示す通りです。

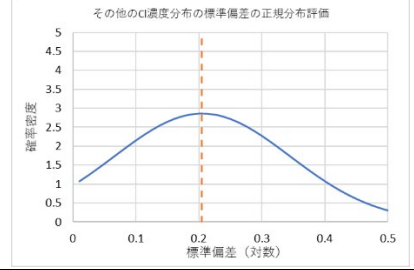
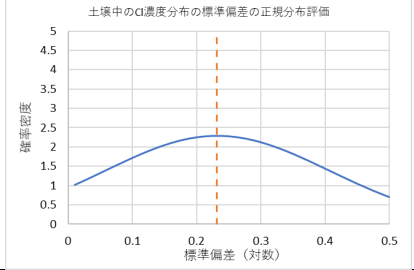
	SUSの場合	出典
原材料・鉄	熔融還元：約 1, 200	焼成工程：約 1, 200℃～岩佐ロータリーキルンパンフレット

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容									
○「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													
				<table border="1"> <tr> <td>鉄工程</td> <td>～約 2,000℃</td> <td>ト フェロニッケル製造工程：約 1500℃：大平洋金属株式会社 フェロニッケル製造工程パンフレット 溶解工程：～約 2000℃：鉄を作るプロセス，化学工学会 夢化学委員会</td> </tr> <tr> <td>溶解・精錬工程</td> <td>溶鉄：約 1,500～約 1,650℃</td> <td>溶鉄：約 1500℃：ステンレス鋼製造技術の進歩 -新日鉄技 法第 351 号(1994) 精錬：～約 1,650℃：ステンレス鋼便覧第 3 版(1994)</td> </tr> <tr> <td>加工工程</td> <td>熱間圧延：約 1,100～1,250℃</td> <td>ステンレス鋼圧延技術の進歩 鉄と鋼 第 59 年(1973) 第 13 号</td> </tr> </table>	鉄工程	～約 2,000℃	ト フェロニッケル製造工程：約 1500℃：大平洋金属株式会社 フェロニッケル製造工程パンフレット 溶解工程：～約 2000℃：鉄を作るプロセス，化学工学会 夢化学委員会	溶解・精錬工程	溶鉄：約 1,500～約 1,650℃	溶鉄：約 1500℃：ステンレス鋼製造技術の進歩 -新日鉄技 法第 351 号(1994) 精錬：～約 1,650℃：ステンレス鋼便覧第 3 版(1994)	加工工程	熱間圧延：約 1,100～1,250℃	ステンレス鋼圧延技術の進歩 鉄と鋼 第 59 年(1973) 第 13 号
鉄工程	～約 2,000℃	ト フェロニッケル製造工程：約 1500℃：大平洋金属株式会社 フェロニッケル製造工程パンフレット 溶解工程：～約 2000℃：鉄を作るプロセス，化学工学会 夢化学委員会											
溶解・精錬工程	溶鉄：約 1,500～約 1,650℃	溶鉄：約 1500℃：ステンレス鋼製造技術の進歩 -新日鉄技 法第 351 号(1994) 精錬：～約 1,650℃：ステンレス鋼便覧第 3 版(1994)											
加工工程	熱間圧延：約 1,100～1,250℃	ステンレス鋼圧延技術の進歩 鉄と鋼 第 59 年(1973) 第 13 号											
(2) 「b) 適用除外データ」に、「a) の方針で収集した元素濃度データであっても、検出困難元素の標準偏差の評価に適さないと判断したデータは、除外する。」とありますが、「検出困難元素の標準偏差の評価に適さないと判断したデータ」とはどのようなデータかを想定しているか説明してください。	検出困難元素の濃度分布を評価するに当たり、実機構成材の元素分析データ以外の、鉱物、岩石などからの試料の標準偏差を適用する場合に、その標準偏差が実機構成材のものと同等であることは、分布の妥当性を示すために重要です。「検出困難元素の標準偏差の評価に適さないと判断したデータ」が具体的に示されていないと、一貫した判断ができないと考えるため質問したものです。	説明で 3 点以下の測定点しかないものや平均値しかないものは外されていたと思いますが、色々な機関で測定された値をあつめて評価してはいけない理由はありません。測定点数が少ないことが、除外の理由として妥当と考える根拠について説明してください。	回答可能)	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p>検出困難元素の標準偏差の評価に適さないと判断するデータは、附属書 H の「H. 3.1 b) 適用除外データ」に示しますように、次のデータがその対象となります。</p> <ul style="list-style-type: none"> 分析結果の集計値（平均値など）だけが示されている文献は、対数正規分布に関する評価が行えないため、除外する。ただし、対数正規分布による平均値及び標準偏差が示されている場合は除外しない。 元素濃度データが 3 点未満の文献は、標準偏差を算出できないため、除外する。 生物、液体（海水、地下水など）の元素濃度データに関する文献は、除外する（生物では代謝活動による影響、液体では元素の溶解度などによる影響があり、微量成分元素の元素濃度データとして適切でない可能性があるため）。 Th 及び U の元素濃度データに関する文献では、ウラン鉱山及びジルコンに関する文献は、除外する（ウラン鉱山及びジルコンでは、Th 及び U が部分濃集しており、微量成分元素の元素濃度データとして適切でない可能性があるため）。 元素濃度データのデータ群に、検出下限値が含まれていた場合は、該当するデータ群を除外する。 <p>なお、各データ群間の比較（同等性、正規性）を行うため、この統計処理を行う上で、3 点未満のデータ群は評価が出来ませんので除外しているもので、データ群の全体統合が可能と評価された段階では、ご指摘のように、収集した評価は可能であると考えます。</p> <p>ただし、次の回答 8 に示しましたように、データ群のデータ数が 20 点を未満の場合は、データの少なさによるばらつきも大きい状態のため、標準偏差の決定に使用するデータ群としての適用は避けています。</p>									
8. 「H. 2.3 元素濃度データの適用条件」に「a) 標準偏差の同等性の確認 鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データ（濃度分布）が産地及び種類によらず同程度の標準偏差を示すことを確認する。また、各データ群の標準偏差に濃度依存性がないことも確認する。」とありますが、同程度であることはどのように評価するのか説明してください。また、	元素濃度データの適用に当たって、実機構成材以外の標準偏差を適用する場合に、その標準偏差が実機構成材のものと同等であることは、分布の妥当性を示すために重要です。標準では、その同等性は、「同程度の標準偏差を示す」ことで確認するとしていますが、具体的な判断基準が示されていないため質問しています。	質問に対して、「標準偏差の同等性確認：標準偏差の平均、元素濃度に対する移動平均の濃度依存性のないこと、及び産地、種類ごとの標準偏差を比較して同等性を確認する」と回答いただいておりますが、同等性は…同等性を確認するという文章になっており、質問の回答になっていません。標準偏差が同程度であることを判断するための具体的な判断基準を示してください。また、必要なデータ数に対する質問に対して、「必要なデータ数は標準には示していませんが、標準偏差の同等性及び対数正規性の確認が行えるだけの数	回答可能	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p>まず、「各データ群の標準偏差に濃度依存性がないこと」の確認ですが、附属書 H の「H. 3.2 元素濃度データの適用性の確認」に示しておりますように、「標準偏差の同等性の確認」及び「対数正規性の確認」によって行います。</p> <p>標準偏差の同等性の確認： 標準偏差の平均、元素濃度に対する移動平均の濃度依存性のないこと、及び産地、種類ごとの標準偏差を比較して差異が小さいことを確認する。（図 H. 4 及び表 8-1 参照）</p> <p>対数正規性の確認： 正規性の検討と、平均値・標準偏差が近似的に推定出来る正規確率紙¹⁾上のプロットが、おおむね直線関係にあること。</p>									

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容															
<p>○「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</p>																			
<p>当該評価に必要なデータ数についても説明してください。</p>	<p>また、標準偏差を導くにはデータ数が十分に得られている必要があります。原子力学会として、どの程度のデータ数であれば標準偏差の同等性を確認するに足る信頼できる標準偏差が得られると考えているのかを確認するために質問したものです。</p>	<p>量が必要となります。」と回答いただいておりますが、これも質問の回答になっていません。必要なデータ数の妥当性を確認する方法と判断基準を提示してください。</p>		<p>注1) 正規確率紙による方法, 獣医学と統計利用, No. 2, 3-6 (1978) 分布型のはなし—正規分布型—, 獣医学と統計利用, No. 11, 33-37 (1978) 確率分布の適合度の図式判定法について, 土木学会論文集, No. 357, 243-246 (1985)</p> <p>この「標準偏差が同程度であること」を判断するための具体的な判断基準は、次に示します図 H. 4 の標準偏差の産地、種類ごとの比較及び表 8-1 の標準偏差の平均値の比較によって、総合的に判断します。</p> <table border="1" data-bbox="1757 625 2878 1743"> <thead> <tr> <th></th> <th data-bbox="1834 625 2350 674">産地別の比較</th> <th data-bbox="2350 625 2873 674">種類別の比較</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1757 674 1834 961">C1 の例</td> <td data-bbox="1834 674 2350 961">  <p>図 H. 4 より抜粋</p> </td> <td data-bbox="2350 674 2873 961">  <p>図 H. 4 より抜粋</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1757 961 1834 1224">日本</td> <td data-bbox="1834 961 2350 1224">  <p>日本のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p> </td> <td data-bbox="2350 961 2873 1224">  <p>鉱物中のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1757 1224 1834 1486">欧州</td> <td data-bbox="1834 1224 2350 1486">  <p>欧州のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p> </td> <td data-bbox="2350 1224 2873 1486">  <p>火成岩中のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1757 1486 1834 1743">北米</td> <td data-bbox="1834 1486 2350 1743">  <p>北米のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p> </td> <td data-bbox="2350 1486 2873 1743">  <p>堆積岩中のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p> </td> </tr> </tbody> </table>		産地別の比較	種類別の比較	C1 の例	 <p>図 H. 4 より抜粋</p>	 <p>図 H. 4 より抜粋</p>	日本	 <p>日本のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p>	 <p>鉱物中のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p>	欧州	 <p>欧州のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p>	 <p>火成岩中のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p>	北米	 <p>北米のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p>	 <p>堆積岩中のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p>
	産地別の比較	種類別の比較																	
C1 の例	 <p>図 H. 4 より抜粋</p>	 <p>図 H. 4 より抜粋</p>																	
日本	 <p>日本のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p>	 <p>鉱物中のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p>																	
欧州	 <p>欧州のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p>	 <p>火成岩中のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p>																	
北米	 <p>北米のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p>	 <p>堆積岩中のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p>																	

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																
○「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																				
				<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>その他</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>土壌</p>  </div> </div> <p>図 H.4-C1 の全データ群の元素濃度分布及び標準偏差の濃度依存性（産地・種類別の全体図） （分類区分ごとの標準偏差の分布図は、事業者から提示された平均値と標準偏差のデータを使用して 作図） 出典 北海道電力株式会社ほか，“平成 25 年度 検出困難元素の濃度分布評価について”，平成 26 年 7 月 注 1 分散分析の結果では、各グループ間での有意差なしと評価されている。</p> <p style="text-align: center;">表 8-1 塩素、トリウム及びウランのデータ群の標準偏差及び標準偏差の平均値</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>元素</th> <th>塩素 (Cl)</th> <th>トリウム (Th)</th> <th>ウラン (U)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>データ群の標準偏差 (データ数が 5 点以下のデータ群を除 いた場合)</td> <td>0.01~0.82 (0.01~0.46)</td> <td>0.01~0.51 (0.03~0.44)</td> <td>0.02~0.63 (0.03~0.63)</td> </tr> <tr> <td>標準偏差の平均値</td> <td>0.22</td> <td>0.22</td> <td>0.19</td> </tr> <tr> <td>区分（産地／種類）ごとの 標準偏差の平均値</td> <td>0.19~0.25</td> <td>0.15~0.24</td> <td>0.19~0.24</td> </tr> </tbody> </table> <p>出典[1] 北海道電力株式会社ほか，“平成 25 年度 検出困難元素の濃度分布評価について”，平成 26 年 7 月</p> <p>次に、「必要データ数」に関してですが、標準には示しておりませんが、図 H.4 及び表 8-1 の評価に は、統計値（標準偏差）が算出できるデータ数として 3 点以上のデータ群によって評価を行っていま す。 また、最終的には、上記確認を行った上で、検出困難元素の濃度分布の設定に必要となります標準 偏差を決定するための基礎データとする各データ群の必要なデータ数としては、下図（図 H.21）に示 しますデータ数の増加による統計値の安定性を評価した結果から、標準には規定していませんが、デ ータ数が 20 点以上のデータ群だけを、検出困難元素の濃度分布の評価用の標準偏差の設定に適用し ています。</p>	元素	塩素 (Cl)	トリウム (Th)	ウラン (U)	データ群の標準偏差 (データ数が 5 点以下のデータ群を除 いた場合)	0.01~0.82 (0.01~0.46)	0.01~0.51 (0.03~0.44)	0.02~0.63 (0.03~0.63)	標準偏差の平均値	0.22	0.22	0.19	区分（産地／種類）ごとの 標準偏差の平均値	0.19~0.25	0.15~0.24	0.19~0.24
元素	塩素 (Cl)	トリウム (Th)	ウラン (U)																	
データ群の標準偏差 (データ数が 5 点以下のデータ群を除 いた場合)	0.01~0.82 (0.01~0.46)	0.01~0.51 (0.03~0.44)	0.02~0.63 (0.03~0.63)																	
標準偏差の平均値	0.22	0.22	0.19																	
区分（産地／種類）ごとの 標準偏差の平均値	0.19~0.25	0.15~0.24	0.19~0.24																	

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
----	-------------	-----------------------	-------	--------

○「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

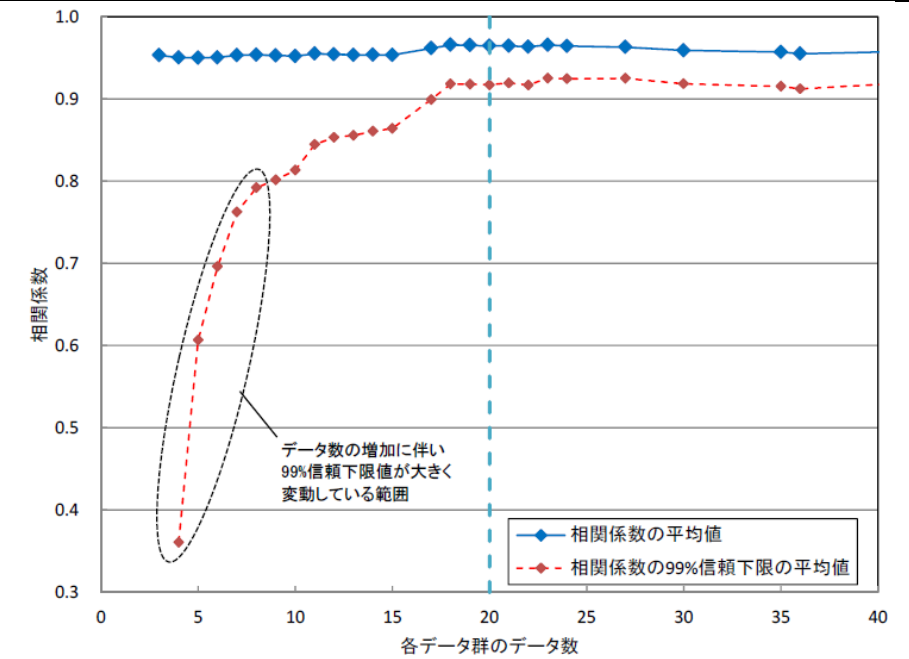


図 H.21-C1 の各データ群の相関係数の平均と相関係数の 99%信頼下限値の平均との関係

H.3.2 元素濃度データの適用性の確認

a) **標準偏差の同等性の確認** 有識者検討会の報告書では、C1、Th 及び U に対し、H.3.1 で収集した元素濃度データ（データ群）を利用し、次の評価を行っている。

- － C1、Th 及び U の全データ群の標準偏差の平均は 0.18～0.20（対数値）であり、元素濃度に対する移動平均からも明らかな濃度依存性は認められなかった（図 H.4 から図 H.6 参照）。
- － C1 は鉍物、火山岩、深成岩、Th 及び U は鉍物、火成岩、堆積岩のそれぞれのデータ群において、産地ごとの標準偏差の比較を行った結果、明らかな濃度依存性は認められなかった（図 H.7 から図 H.9 参照）。
- － C1 は日本、欧州、北米、Th 及び U は日本、北米のそれぞれのデータ群において、種類ごとの標準偏差の比較を行った結果、明らかな濃度依存性は認められなかった（図 H.10 から図 H.12 参照）。

上記評価結果から、有識者検討会の報告書では、C1、Th 及び U の鉍物、岩石などからの試料の元素濃度分布（標準偏差）は、産地、種類及び濃度に依存せず、同程度の値を示すと評価している。

b) **対数正規性の確認** 有識者検討会の報告書では、C1、Th 及び U に対し、H.3.1 で収集した元素濃度データ（データ群）を利用して代表的なデータ群の元素濃度分布を整理し、対数正規確率図上のプロットがおおむね直線関係にあることを確認しており、この結果から、いずれの元素も鉍物、岩石などからの試料の元素濃度分布は、対数正規分布を示していると評価している（図 H.13 から図 H.15 参照）。

補足：直線関係にあることの判定基準

正規確率紙による正規性の判断は、例（参考文献）に示していますように、定性的な評価によるものです。

そのため、「直線関係にあることの判定基準」についての文献はないのではと考えます。

もし、定量的判断を必要とするならば、正規性の検定などによる方法もあります。

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
○「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				
<p>9. 「H2.4 検出困難元素の濃度分布評価方法」に「1) 元素濃度データの代表性 検出困難元素の標準偏差の設定に利用する元素濃度データは、鉱物、岩石などからの試料を適切に代表している（標準偏差に産地・種類・濃度の依存性がないなど）、又は設定する標準偏差の特性などを鑑みた適切な範囲から収集されている」とありますが、「鉱物、岩石などからの試料を適切に代表している」「設定する標準偏差の特性などを鑑みた適切な範囲から収集されている」の適切な範囲の根拠について説明してください。</p>	<p>元素濃度の代表性を「鉱物、岩石などからの試料を適切に代表している」又は「設定する標準偏差の特性などを鑑みた適切な範囲から収集されている」としたことの根拠について質問したものです。</p>	<p>回答いただいた表 H.3 は、例であって、根拠ではありません。元素濃度の代表性を「鉱物、岩石などからの試料を適切に代表している」又は「設定する標準偏差の特性などを鑑みた適切な範囲から収集されている」とするにあたって、根拠となったデータや評価事例を提示してください。</p>	<p>回答可能</p>	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p>附属書 H の表 H.3 に示しますように、全て検出下限値を含まないデータで、種類及び産地を広く収集できていることによって評価します。</p> <p>この評価指標の区分としました「産地」及び「種類」ですが、下記の観点で分類した指標となっています。</p> <p>産地： 可能な限り広範な産地から元素分析データを収集して影響を把握するため、日本及び大陸別で分類した収集対象とした。</p> <p>種類： 可能な限り広範な環境条件から元素分析データを収集して影響を把握するため、各種材料の原材料である鉱物に加え、岩石（火成岩、堆積岩）及び河川などの堆積物、土壌を収集対象とした。</p> <p>具体的には、標準には示しておりませんが、鉱物、岩石などからの試料を適切に代表している点に関しまして、産地に関しては、表 9-1^[1]に示しました広範囲の分類区分のデータを収集することで、種類に関しても、表 9-2^[1]に示しました広範囲の分類区分のデータを収集することで、代表性を確保しています。</p> <p>なお、この考え方を踏まえて、附属書 H の「H.2.1 考え方」に示します検出困難元素の特性（放射化学金属等の原鉱物及び精錬工程における熱及び化学的影響、化学的性質）を踏まえて、天然の鉱物、岩石、精錬後の金属から収集することを踏まえたものとなっています。</p> <p>出典[1] 北海道電力株式会社ほか，“平成 25 年度 検出困難元素の濃度分布評価について”，平成 26 年 7 月</p> <p style="text-align: right;">表 9-1 産地の分類区分表</p>

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
----	-------------	-----------------------	-------	--------

○「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

分類1	分類2	分類3	分類4	分類5
日本	日本	日本	(都道府県)	
			岩手県	北上山地
			宮城県	釜淵
			秋田県	南秋田地域
			山形県	足置線エリア
			福島県	飯田麓山
			茨城県	大前山(土層)
			栃木県	大前山(堆積岩)
			群馬県	高遠町北部地域
			埼玉県	神戸市
			千葉県	北海道
			東京都	虹田麓山
北米	カナダ	Abitibi緑色帯地域	北前野部火山地域、並びにQuévillon, Val-d'Or, Normétal, Joutel, Selbaie, Matagami, Hunter, Noranda, Bousquet, Gemini-Turgeon 及びChibougamauの各地域	
		オンタリオ州	(Clergue Township, Midlothian Township, McCool Township, German Township, Barlett-Cook Township, 等)	
		ケベック州	Pontiac 郡	
		サスカチュワン州	Cantuar	
		ニューファンドランド州	Lewis Hills	
		ニューブランズウィック州	南西部	
		ノースウエスト準州		
		プリテンジューロンビア州	Telegraph Creek area	
		ユーコン準州	(南西部、西部)	
米国		アイオワ州	Sioux	
		アイダホ州	American Falls	
		アラバマ州	hardin	
		オハイオ州	(Calumet, Iron)	
		ウエストバージニア州	(Brooke, Ohio, Wayne)	
		オクラホマ州	Birch Lake area	
		カリフォルニア州	(サンフランシスコ郡, Eureka Valley, Clear Lake地域)	
		カンザス州	(Friedrich, Finn, OZ, Poersch)	
		ケンタッキー州	Fulton	
		コロラド州	(El Paso郡, Jefferson郡)	
		ジョージア州	ビエモント	
		テキサス州	(Llano郡, 西部)	
		テネシー州		
		ニューメキシコ州	(Santa Fe, サンファン郡)	
		ニューヨーク州	(Rockland, Genesee)	
		メーン州	Slurry	
		バーモント州	(Grand Isle, Chittenden, Grand Isle)	
		フロリダ州	Hillsborough	
		ペンシルバニア州		
		ミシガン州	(Alger, Dickinson, Keweenaw, Greenstone Flow)	
		ミネソタ州	(Merrett hole, Arko hole, Duluth)	
		メイン州	Sagadahoc	
		ユタ州	(Bingham District, 南西部, Uintah郡, トゥーエル郡)	
		ワイオミング州	(ララミー, Iron Mountain, Lamoille Hills)	
		ワシントン州	Mount St. Helens	
		北太平洋(沿岸)	ファン・デ・フカ	
米国隣接地域				
欧州	ハンガリー北部火山域	ハンガリー北部火山域	ハンガリー北部火山域	
	アイスランド	アイスランド	シグスタトル	
	アイスランド	アイスランド	アイスランド	
イタリア	トレンティーノ・アルト・アドーニ州	Valsugana		
	トリエンテ州	Cima d'Asa-Gaoria		
	アブルツォ州	グラシ・サツ		
	カンパニア州	カンパニア州		
	イタリヤ	(スロニア) Volcano島, Lagan島		
ギリシャ	ギリシャ	(サントリーニ島, シロス島)		
グリーンランド	グリーンランド	南グリーンランド		
スイス	スイス	Mont Russelin		
スウェーデン	スウェーデン	ストックホルム県		
スペイン	アンダルシア州	アルメリア県		
	ウエルバ	Neron		
ノルウェー	カナリア諸島州	グラン・カナリア島		
ロシア	イルクーツク州	スリジャンカ		
	ザハ共和国	ヤクーチヤ		
フィンランド	フィンランド南部	フィンランド南部		
ポルトガル	ポルトガル中央部	ポルトガル中央部		
大英洋	大英洋	Berlin Abyssal Plain		
サハラ以南	サハラ以南	アソニア島		
イラン	イラン	イラン北西部		
	ヤズド州	ハーバク郡		
インド	マドラス州	セラム県		
	アーンラプラーチ州	クリシュナ県		
インドネシア	インドネシア	Santo		
インド洋	インド洋	南西インド洋海嶺		
オーストラリア	ニューサウスウェールズ州	(ローズビル, ストラトフォード)		
ケニア	ケニア	ナクルナイシヤ地域		
ジャマイカ	ジャマイカ	ジャマイカ		
スリナム	スリナム	スリナム		
チリ	Los Lagos Region	Fresia		
	Mantos de Oro	Chimberos		
バファニューギニア	Manus海嶺東部			
ハワイ諸島	ハワイ諸島	(オアフ島, カウアイ島, ハワイ島, マウイ島)		
ブラジル	ブラジル	ブラジル		
ベネズエラ	ベネズエラ	ベネズエラ		
ペルー	ペルー	イカ県		
ロシア(極東)	クリル諸島	クリル諸島		
	カムチャツカ	(Green Ridge, 東カムチャツカ火山帯)		
西インド諸島	西インド諸島	西インド諸島		
太平洋	太平洋	(these deep rift valley, Guatemala Slope)		
大西洋	大西洋	(MAR-Kane, MAR-FAMOUS)		
中国	湖南省	南岳衡山		
	江蘇省	清浦区		
	浙江省	绍兴市		
	遼寧省	北票市		
	甘肅省	(Yindongzi-Daxigou, Tongmugou)		
	江西省	銀山(Yinshan)鉱床		
南アフリカ共和国	Koffiefontein	Koffiefontein		
南極	セルビア-ネ山地	セルビア-ネ山地		

*1 分類5の情報が無く、かつ、分類4のみが異なる産地については分類4内に括弧書きで示した。

出典；検出困難元素の濃度分布評価について”，平成26年7月

表9-2 種類の分類区分表

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
----	-------------	-----------------------	-------	--------

○「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

分類1	分類2	分類3	分類4*	分類5
鉱物	イノケイ酸塩鉱物	角閃石グループ	(普通角閃石、ハロウ角閃石、パーガス角閃石)	
		輝石グループ	エジリン輝石	
	テクトケイ酸塩鉱物	柱石		
		長石	(長石、アルカリ長石、斜長石、玻璃長石)	
	ホソケイ酸塩鉱物	かんらん石		
	フィロケイ酸塩鉱物	雲母	(雲母、金雲母、黒雲母)	
		緑泥石グループ		
	リン鉱物	ミネラル		
	リン酸塩鉱物	燐灰石グループ	燐灰石	
	硫化鉱物	スビナルグループ		
		ルチルグループ	バデレアイト	
		SiO ₂ 鉱物	石英	
	炭酸塩鉱物	苦灰石グループ	苦灰石	
	硫化鉱物	輝安鉱グループ	輝安鉱	
		濃紅銅鉱		
	アルミニウム鉱石	ボーキサイト		
	鉄鉱石	褐鉄鉱		
		鉄鉱石		
	火山ガラス			
	藍床凝結料			
火成岩	深成岩	gladesville斑れい岩		
		metatonalite		
		アフライト		
		かんらん岩	(かんらん岩、タンかんらん岩、蛇紋岩化かんらん岩)	
		キンハーライト		
		花崗岩	(花崗岩、黒雲母花崗岩、モンソ花崗岩)	
		花崗閃緑岩	花崗閃緑岩	
			高遠花崗閃緑岩	黒雲母花崗閃緑岩
			角閃石黒雲母花崗閃緑岩	
			黒雲母花崗閃緑岩	
		蛇紋岩		
		深成岩類風化土壌		
		閃長岩		
		閃緑岩		
		斑れい岩		
		斑岩	(斑岩、角閃石黒雲母花崗岩斑岩)	
		輝石花崗岩		
	火山岩	シラシラナイト		
		デイサイト		
		テフライト		
		ラタイト		
		ランプロアイト		
		安山岩		
		輝緑岩		
		輝長岩		
		玄武岩		
		玄武岩質安山岩		
		粗面ドライト		
		粗面岩		
		粗粒玄武岩		
		流紋岩		
	火山砕屑岩	凝灰岩	(凝灰岩、溶結凝灰岩)	
	変成岩(交代変成岩)			
	変成岩(広域変成岩)	エクロナイト		
		結晶片岩	(結晶片岩、葉状片岩)	
		砂泥質片麻岩		
		千枚岩	菱質千枚岩	
		片麻岩		
		緑色岩		
	変成岩(接触変成岩)	珪岩		
		閃緑岩		
	変成岩	変斑れい岩		
		変成安山岩		
		角閃岩		
	堆積岩	砕屑岩		
		砂岩		
		泥岩	(泥岩、シルト岩、泥灰岩、粘土岩)	
		粘板岩		
		頁岩		
	粘土岩	ペントナイト		
	頁岩			
	変成岩(広域変成岩)	角閃岩		
		結晶片岩	(結晶片岩、泥質片岩)	
		片麻岩		
堆積物(河)	河川堆積物			
土壌	Aiken土壌統			
	Altamont土壌統			
	Holland土壌統			
	Imperial土壌統			
	Kettleman土壌統			
	Maymen土壌統			
	Merced土壌統			
	Watsonville土壌統			
	チエルノーゼム			
	ラトソル			
	暗栗色土			
	黄色土			
	褐色森林土			
	黒ぼく土			
	砂丘レゴソル			
	砂土			

*1 分類5の情報が無く、かつ、分類4のみが異なる種類については分類4内に括弧書きで示した。
出典；検出困難元素の濃度分布評価について”，平成26年7月

表 H. 3- 収集した Th の元素濃度データの産地及び種類別のデータ群数^[1]

種類	産地
----	----

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																																										
○「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																																														
				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>日本</th> <th>欧州</th> <th>北米</th> <th>その他</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>鉱物</td> <td>15</td> <td>0</td> <td>6</td> <td>7^{a)}</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>火成岩</td> <td>37</td> <td>6</td> <td>28</td> <td>10^{b)}</td> <td>81</td> </tr> <tr> <td>堆積岩</td> <td>8</td> <td>3</td> <td>13</td> <td>7^{c)}</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>堆積物（河川，湖沼）</td> <td>47</td> <td>0</td> <td>9</td> <td>0</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>土壌</td> <td>3</td> <td>0</td> <td>9</td> <td>0</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>110</td> <td>9</td> <td>65</td> <td>24</td> <td>208</td> </tr> </tbody> </table> <p>注^{a)} 産地内訳：大西洋，アフリカ，豪州，チリ，イラン，パプアニューギニア，スリナム，ジャマイカ 注^{b)} 産地内訳：イラン，中国 注^{c)} 産地内訳：オーストラリア，インドネシア，ベネズエラ</p> <p>H.2.1 考え方 H.1 に示した検出困難元素の濃度分布評価に利用する標準偏差は、鉱物、岩石、土壌、堆積物など（以下、鉱物、岩石などからの試料という。）の元素濃度データを利用して設定することができる。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。 － 鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データ（濃度分布）は、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。 － 検出困難元素の標準偏差は、材料の製造工程（例 添加，熱処理，化学処理など）の影響を受けない。</p>		日本	欧州	北米	その他	合計	鉱物	15	0	6	7 ^{a)}	28	火成岩	37	6	28	10 ^{b)}	81	堆積岩	8	3	13	7 ^{c)}	31	堆積物（河川，湖沼）	47	0	9	0	56	土壌	3	0	9	0	12	合計	110	9	65	24	208
	日本	欧州	北米	その他	合計																																									
鉱物	15	0	6	7 ^{a)}	28																																									
火成岩	37	6	28	10 ^{b)}	81																																									
堆積岩	8	3	13	7 ^{c)}	31																																									
堆積物（河川，湖沼）	47	0	9	0	56																																									
土壌	3	0	9	0	12																																									
合計	110	9	65	24	208																																									
10. 「H.2.5 化学的性質が類似した元素濃度データの利用」に「評価対象とする検出困難元素が、不純物成分元素又は微量成分元素であれば、検出困難元素濃度データの一部に、評価対象とする検出困難元素と化学的性質が類似した元素の濃度データを参考とする」とありますが、具体的にどのように選定するか説明してください。	元素濃度データの適用に当たって、実構成材以外の標準偏差を適用する場合に、その標準偏差が実構成材のものと同等であることは、分布の妥当性を示すために重要です。標準では、「評価対象とする検出困難元素と化学的性質が類似した元素の濃度データを参考とする」と記載していますが、「化学的性質が類似」していることの判断基準が示されておらず、技術的妥当性が判断できないため質問したものです。	質問に対して、「検出困難元素と同様の方法（H.2.2の方法）で化学的性質が類似した元素の濃度データを収集している」と回答いただいておりますが、標準H.2.2に示された方法では判断できなかったため質問したものです。「化学的性質が類似」していることを求めています。が、どのような化学的性質が類似している必要があるのかを具体的に示してください。また、類似していることは何をもちいて判断するのかも併せて示してください。	回答可能	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p>まず、化学的性質が類似した元素濃度データの利用に関しての選定方法ですが、附属書HのH.2.5に示しておりますように、次の確認を行った上で適用します。</p> <ul style="list-style-type: none"> － 評価対象とする検出困難元素と同様の方法（H.2.2の方法）で化学的性質が類似した元素の濃度データを収集している。 － 収集した化学的性質が類似した元素の濃度データに対して、検出困難元素の濃度分布評価（すなわち、標準偏差の設定）のための適用条件の確認（H.2.3の確認）が行われている。 － 上記で収集した元素濃度データを利用し、評価対象とする検出困難元素と化学的性質が類似した元素の濃度分布の標準偏差とが同程度であることの評価が行われている。 <p>なお、上記に示します「化学的性質が類似」とは、起源元素の属する周期上の同じ族としての性質、や製造時に受ける化学反応（酸化・還元、スラグ化）に対する性質があげられます。ただし、標準では検出困難元素の濃度分布評価は、『「同一の元素」又は「化学的性質が類似した元素」』を適用範囲としていますが、実際の適用事例及び将来的な検出困難元素の濃度分布評価への適用計画においては、「同一元素」に対する適用のみを考えております。このため、「類似していること」に対する判断基準は、示しておりません。</p> <p>H.2.5 化学的性質が類似した元素濃度データの利用 評価対象とする検出困難元素が、不純物成分元素又は微量成分元素であれば、検出困難元素の元素濃度データの一部に、評価対象とする検出困難元素と化学的性質が類似した元素の濃度データを加えることも可能である。ただし、化学的性質が類似した元素の濃度データを参考とする場合は、あらかじめ次の確認が必要である。 － 評価対象とする検出困難元素と同様の方法（H.2.2の方法）で化学的性質が類似した</p>																																										

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

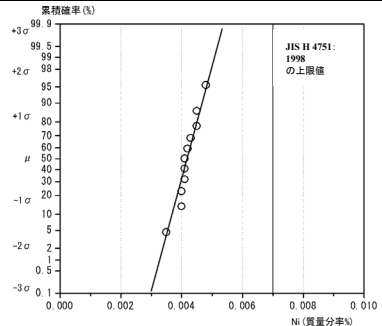
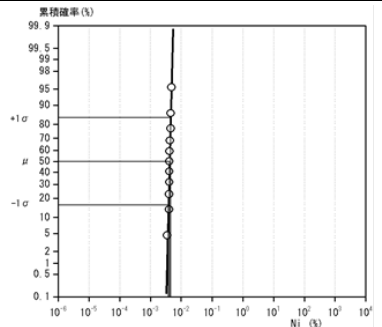
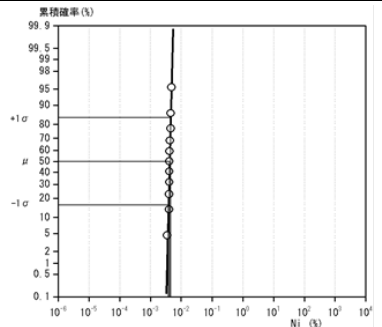
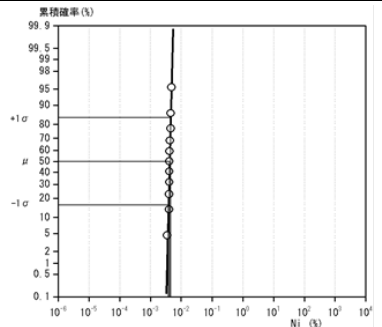
2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

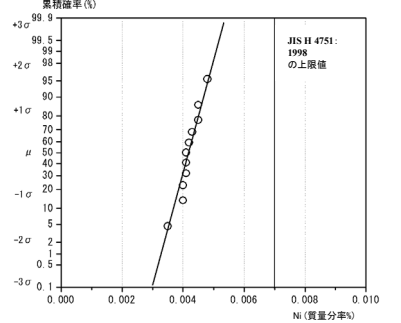
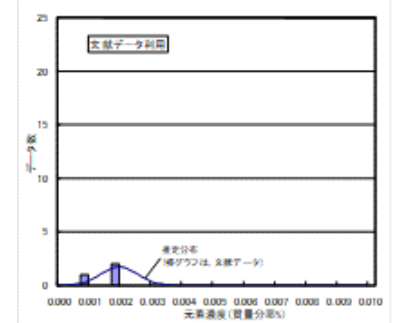
質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
○「理論的方法の入力条件の設定方法の具体及び評価結果の不確かさ」に関するもの				
				<p>元素の濃度データを収集している。</p> <ul style="list-style-type: none"> － 収集した化学的性質が類似した元素の濃度データに対して、検出困難元素の濃度分布評価（すなわち、標準偏差の設定）のための適用条件の確認（H.2.3の確認）が行われている。 － 上記で収集した元素濃度データを利用し、評価対象とする検出困難元素と化学的性質が類似した元素の濃度分布の標準偏差とが同程度であることの評価が行われている。（略） <p>H.2.2 元素濃度データの収集方法 鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データは、文献などから収集することができる。ただし、元素濃度データを収集する場合には、次の考慮が必要である。</p> <ul style="list-style-type: none"> a) データ収集方針 元素濃度データは、検出困難元素の特性などを考慮した種類を、可能な限り広範な産地から、収集する。 b) 適用除外データ a) の方針で収集した元素濃度データであっても、検出困難元素の標準偏差の評価に適さないと判断したデータは、除外する。 c) データ群の作成 収集した元素濃度データは、産地及び種類ごとに元素濃度データをデータ群（産地及び種類ごとの元素濃度データのグループ）として分類し、各々のデータ群で標準偏差を作成する。 <p>H.2.3 元素濃度データの適用条件 H.2.2 で収集した元素濃度データを、検出困難元素の濃度分布評価（標準偏差の設定）に適用するために、次の確認を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 標準偏差の同等性の確認 鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データ（濃度分布）が産地及び種類によらず同程度の標準偏差を示すことを確認する。また、各データ群の標準偏差に濃度依存性がないことも確認する。 b) 対数正規性の確認 鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データ（濃度分布）が、産地及び種類によらず、対数正規性を示すことを確認する。 c) 材料の製造工程の影響の確認 検出困難元素の標準偏差は、材料の製造工程（例 添加、熱処理、化学処理など）の影響を受けない、又は影響を受けても最終的には鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データと同等になることを、材料の製造工程及び製造工程中の元素挙動の調査結果などから確認する。（略）
<p>11. 「H.3 検出困難元素の濃度分布の評価例」でCl, Th, Uについての評価例が示されていますが、これらの元素は鉱物中及び部材中に含有量が比較的多い元素であると推察します。この方法がその他の元素にも適用できる根拠を説明してください。</p>	<p>標準の中では、原理的に対数正規分布となる元素であっても、実測の結果正規分布として設定するものがあります。標準偏差は分布形に依存するため、Cl, Th, Uの評価例をもって、その他の、金属中の分布範囲が狭く原理的な分布形と実際が異なるものに適用できるかを確認したものです。</p>	<p>Cl, Th, U以外の、①鉱物中或いは部材中の含有量の少ない元素、及び②製造管理により部材中の含有範囲の狭い元素についてもこの手法が適用出来ることを実測例をもって示してください。</p>	<p>回答可能</p>	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p>鉱物、岩石などからの試料の分析データを利用して、検出困難元素の元素濃度分布を評価する方法は、適用対象元素をCl, Th（微量成分元素）、U（ZrTN804Dでは不純物成分元素、SUS304では微量成分元素）の検出が難しい元素に限ったものでなく、対象元素の特性（化学的性質、放射化金属等の原鉱物及び精錬工程における熱及び化学的影響）を考慮した分析データ収集結果（検出下限値を含まないデータ）に基づいて評価する方法です。</p> <p>このため、回答8の元素濃度データの適用条件に示しました「標準偏差の同等性の確認」「対数正規性の確認」及び「材料の製造工程の影響の確認」を行うことで、その他の元素にも適用できます。</p> <p>なお、この「検出困難元素の濃度分布の評価」は、検出困難な元素が対象（特に、検出限界値しか得られなかった元素）に対して適用するものです。このため、「製造管理により部材中の含有範囲の狭い元素」に関しましては、主成分元素と考えられますので、適用は想定しておりません。</p> <p>また、部材中の含有量の少ない元素として、標準で例示しました下記の評価対象核種（附属書G参照）の条件では、起源元素のうち、「Cl, Th及びU」が検出困難元素としての適用対象元素であり、その他の元素は、検出できる可能性のある元素のため、「Cl, Th及びU」が対象となります。</p>

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																								
○「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																												
				評価対象核種： ¹⁴ C, ³⁶ Cl, ⁶⁰ Co, ⁶³ Ni, ⁹⁰ Sr, ⁹⁴ Nb, ⁹⁹ Tc, ¹²⁹ I, ¹³⁷ Cs, 全 α																								
1 2. 「I. 2. 2. 1. 2 元素成分条件の設定」の表 I. 6 において、Ni、Cu ともに「基本的考え方」による設定は対数正規分布ですが、実測値を踏まえて正規分布で設定しています。これは「基本的考え方」が実態と乖離していることを示唆していると想定されますが、「基本的考え方」の位置付け及び Ni、Cu の元素分析データを踏まえた分布形として対数正規分布を採用した理由と考え方を説明してください。 注：「対数正規分布を採用した理由と考え方」は「対数正規分布を採用しない理由と考え方」の誤りです。訂正します。	対数正規分布が基本的考え方であるならば、それを正として、規格の制限値を超えるもの（ただし、材料メーカーが規格値を超える原料を使用するとは考えづらい）があれば、それを除外（対数正規分布の裾部分の切り落とし）した分布にする等の対応をすればよいのではないかと考えから質問したものです。 また、実際の分析データに基づいて分布型を変更することについては理解できますが、分布型変更の場合には根拠が必要であると考えますので質問しています。	回答には、「ジルカロイの Ni、Cu に関しては分析結果の分布の実態を踏まえて、表 I. 6 に示しますように、分布形状を「正規分布」としたものです。」とありますが、表 I. 6 に示されたジルカロイ-4 中の不純物成分元素としての Cu について、正規分布を採用した理由は、対数正規分布では不整合が生じたためという消極的なものに読み取れます。Cu の分布が実際に正規分布している根拠がない限り、正規分布の採用が妥当かどうか判断できませんので、正規確率紙へのプロット結果など、具体的な根拠を示してください。	回答可能	将来的に、申請核種が決まった段階で、新たな起源元素が検出困難元素となった場合は、「Cl、Th 及び U」と同じ手順で文献データを収取した上で、適用性を判断することとなります。 ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。なお、第3回会合中のご質問への回答も以下に含めました。 「主要成分元素」は、組成調整が行われますが、その他の「不純物成分元素」及び「微量成分元素」は、組成調整は行われないため、基本的には、本来の元素濃度の分布である対数正規分布が維持されます。 この元素濃度の分布の基本的考え方は、「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)に示しましたように附属書 G の G. 1. 2. 3. 2 の考え方（表 G. 13 を参照ください）です。 しかしながら、「不純物成分元素」に関しては制限値があり、精錬過程において制限値を満足させるための管理（除去）が行われ、分布が歪むことも考えられますので、分布形状の評価に当たっては、標準では 6. 1. 2. 2. 3 に示しますように分析データによる元素成分の入力用のデータには、分布形状を踏まえた設定を求めています。 このため、元素成分条件の入力データ設定用の濃度分布の評価及び設定を行うために、次のステップで評価を行います。 ① 分析データの収集、正規性の評価段階： 分析データを収集し、附属書 D の表 D. 4 の基本的考え方に示す元素の濃度分布の基本形状（正規分布又は対数正規分布）を適用して分布形状の評価（平均、標準偏差、正規性）を進める。 ② 入力データ設定用分布の設定段階： 放射化計算用の入力データを選定するために設定する濃度分布は、収集した分析データが示す最も適切となる分布形状を確認して設定する。 この結果、ジルカロイの Ni、Cu に関しては分析結果の分布の実態を踏まえて、附属書 I の表 I. 6 に示しますように、分布形状を「正規分布」としたものです。 表 I. 6－実際の元素分析データを踏まえ設定した濃度分布基本形状																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">材 料</th> <th colspan="2">ZrTN804D</th> </tr> <tr> <th colspan="2">元 素</th> <th>Ni</th> <th>Cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">元素成分の区分</td> <td>不純物成分元素</td> <td>不純物成分元素</td> </tr> <tr> <td colspan="2">基本的な考え方による設定</td> <td>対数正規分布</td> <td>対数正規分布</td> </tr> <tr> <td colspan="2">実際の元素分析データを踏まえた設定</td> <td>正規分布</td> <td>正規分布</td> </tr> <tr> <td>理 由</td> <td>濃度分布の推定範囲（±3σ）</td> <td>質量分率 2.9×10⁻³ % ～質量分率 7.1×10⁻³ % (約 2.5 倍)</td> <td>質量分率 2.7×10⁻⁴ % ～質量分率 3.7×10⁻³ % (約 14 倍)</td> </tr> </tbody> </table>					材 料		ZrTN804D		元 素		Ni	Cu	元素成分の区分		不純物成分元素	不純物成分元素	基本的な考え方による設定		対数正規分布	対数正規分布	実際の元素分析データを踏まえた設定		正規分布	正規分布	理 由	濃度分布の推定範囲（±3σ）	質量分率 2.9×10 ⁻³ % ～質量分率 7.1×10 ⁻³ % (約 2.5 倍)	質量分率 2.7×10 ⁻⁴ % ～質量分率 3.7×10 ⁻³ % (約 14 倍)
材 料		ZrTN804D																										
元 素		Ni	Cu																									
元素成分の区分		不純物成分元素	不純物成分元素																									
基本的な考え方による設定		対数正規分布	対数正規分布																									
実際の元素分析データを踏まえた設定		正規分布	正規分布																									
理 由	濃度分布の推定範囲（±3σ）	質量分率 2.9×10 ⁻³ % ～質量分率 7.1×10 ⁻³ % (約 2.5 倍)	質量分率 2.7×10 ⁻⁴ % ～質量分率 3.7×10 ⁻³ % (約 14 倍)																									

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容											
○「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															
				<div data-bbox="1789 331 2798 747"> <p>実際の元素分析データの分布</p>  <p>濃度範囲が非常に狭く（$\pm 3\sigma$でも2.5以内）、上図の正規確率紙上でも、正規性を示したため。</p> </div> <div data-bbox="2466 331 2798 562"> <p>基本的考え方から選択した“対数正規分布”を仮定すると、JIS規格で規定されている上限値（不純物成分元素としての許容範囲）を大幅に超えてしまうため、正規分布を適用した。</p> </div> <div data-bbox="1760 779 2813 1083"> <p>6.1.2.2.3 起源元素の成分条件の設定方法 起源元素の元素成分条件は、次のいずれかの方法で設定する。 — 代表値を設定する方法 収集した起源元素の元素成分データによって、濃度の代表値を設定する。 — 濃度分布から設定する方法 収集した起源元素の元素成分データの濃度分布を踏まえ、複数の代表的濃度（例 平均濃度、信頼上限値など）を設定する。 — 濃度範囲を設定する方法 収集した起源元素の元素成分データの濃度範囲を踏まえ、最大濃度、最小濃度を設定する。 注記 検出が困難な元素に関する濃度分布の評価方法は、附属書Hを参照。</p> </div> <div data-bbox="1760 1115 2813 1213"> <p>回答12に対する追加質問（検討チーム会合中のご質問） 対数正規分布を採用しない理由が記載されていない。対数正規分布では不都合があることをグラフ等で示すようにすること。</p> </div> <div data-bbox="1760 1245 2890 1312"> <p>基本的考え方とは異なる分布形状を適用したNi及びCuに関して、基本的考え方に沿って評価した結果と、分析データの実態を踏まえて決定した分布形状の評価結果に関して、表6-1に示します。</p> </div> <div data-bbox="1923 1312 2724 1339"> <p>表6-1 Ni及びCuの対数正規性と元素分析データに基づく分布の決定</p> </div> <table border="1" data-bbox="1760 1339 2867 1881"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>Ni</th> <th>Cu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">基本的な考え方に基づく、分布形状の評価</td> <td>対数正規分布による評価</td> <td>  <p>[1]</p> </td> <td>— (3点のデータ(0.001%, 0.002%, 0.002%)で、かつ2点と同じ濃度のため、対数正規確率図が作成できない)</td> </tr> <tr> <td>分析結果の範囲</td> <td> 収集データ数：11点（分析値） 平均濃度：4.2×10^{-3} % 濃度範囲：3.5×10^{-3} % ～4.8×10^{-3} % （約1.4倍）</td> <td> 収集データ数：3点（文献値） 平均濃度：1.6×10^{-3} % 濃度範囲：1.0×10^{-3} % ～2.0×10^{-3} % （約2倍）</td> </tr> </tbody> </table>			Ni	Cu	基本的な考え方に基づく、分布形状の評価	対数正規分布による評価	 <p>[1]</p>	— (3点のデータ(0.001%, 0.002%, 0.002%)で、かつ2点と同じ濃度のため、対数正規確率図が作成できない)	分析結果の範囲	収集データ数：11点（分析値） 平均濃度： 4.2×10^{-3} % 濃度範囲： 3.5×10^{-3} % ～ 4.8×10^{-3} % （約1.4倍）	収集データ数：3点（文献値） 平均濃度： 1.6×10^{-3} % 濃度範囲： 1.0×10^{-3} % ～ 2.0×10^{-3} % （約2倍）
		Ni	Cu												
基本的な考え方に基づく、分布形状の評価	対数正規分布による評価	 <p>[1]</p>	— (3点のデータ(0.001%, 0.002%, 0.002%)で、かつ2点と同じ濃度のため、対数正規確率図が作成できない)												
	分析結果の範囲	収集データ数：11点（分析値） 平均濃度： 4.2×10^{-3} % 濃度範囲： 3.5×10^{-3} % ～ 4.8×10^{-3} % （約1.4倍）	収集データ数：3点（文献値） 平均濃度： 1.6×10^{-3} % 濃度範囲： 1.0×10^{-3} % ～ 2.0×10^{-3} % （約2倍）												

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容	
○「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					
				判断 分析実績を踏まえた入力用成分条件（濃度分布）の設定	<p data-bbox="2092 340 2466 533"> 分析 結果の濃度範囲が非常に狭く（最大/最小で1.4）、数桁での範囲の分布評価に適用性を示す対数正規分布ではなく、実数軸範囲での正規分布の評価の方が適切と考えられた。 </p> <p data-bbox="2092 604 2466 905"> 正規分布による評価（標準から抜粋）  (表 I.6 より抜粋) </p> <p data-bbox="2092 947 2466 1037"> 判断 濃度範囲が非常に狭く、正規確率紙上でも、正規性を示す。 </p> <p data-bbox="2092 1037 2466 1079"> 適用分布 正規分布 </p> <p data-bbox="2478 340 2852 596"> 濃度範囲も狭く、ジルカロイ4のJIS規格（JIS H 4751）のCu制限値である0.005%以下に対して、対数正規分布を当てはめると「平均+3σ」の濃度で0.0053%と材料規格の制限値を超えてしまう分布となり、対数正規分布ではない方が適切と考えられた。 </p> <p data-bbox="2478 604 2852 905">  (図 I.5 より抜粋) </p> <p data-bbox="2478 947 2852 1037"> 濃度範囲が狭く、正規分布の方がより適切。 </p> <p data-bbox="2478 1037 2852 1079"> 適用分布 正規分布 </p>
出典1 事業者より提示を受けた対数正規確率紙プロット図					

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																							
○「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																											
				<p>回答 14(1)</p> <p>検出下限値のデータ必要数を定量的に評価することは、難しいと考えます。 ただし、元素分析において「検出下限値のみ」又は「1, 2 点の検出データ」となるおそれのある元素は、附属書 D の表 D. 4 に示しますように、検出することが比較的難しい「微量成分元素」であり、その濃度分布は、附属書 G の表 G. 13 に示します多くの文書にありますように「対数正規分布」を示すと考えられます。</p> <p>その分布の信頼性を左右する検出下限値の妥当性は、種々の文献での材料種類、分析方法の情報によって評価することは可能であることから、標準ではこの入力データの設定の考え方を示しております。このため、検出下限値以下又は 1, 2 点の検出値以下の濃度領域での対数正規分布を設定して評価することは、適切であると考えています。</p> <p>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</p> <table border="1" data-bbox="1765 741 2804 1188"> <thead> <tr> <th rowspan="2">成分管理条件</th> <th>主成分元素</th> <th>不純物成分元素</th> <th>微量成分元素</th> </tr> <tr> <th>管理範囲がある</th> <th>管理上限がある</th> <th>管理値なし</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>基本的考え方</td> <td>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。</td> <td>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。</td> <td>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。</td> </tr> <tr> <td>各元素の濃度分布</td> <td>正規分布</td> <td>対数正規分布</td> <td>対数正規分布</td> </tr> </tbody> </table> <p>表 G. 13—元素の濃度分布を対数正規分布として扱う例</p> <table border="1" data-bbox="1765 1220 2804 1900"> <thead> <tr> <th colspan="2">濃度分布を対数正規分布とした例</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 [31]</td> <td>作業場内における有害物質の濃度の分布は、時間的にも空間的にも正規型の分布より左側（低濃度側）にかたよった型になることが多く、次のような理由から正規型ではなく対数正規型の分布に近いことが予測される。 a) 環境中有害物質の濃度は広い範囲にわたって分布し、最低値と最高値の比はしばしば 100 倍から 1 000 倍にもなることがある。 b) 濃度は物理的に負の値にはなり得ない。 c) 測定値の変動の大きさは測定された濃度の程度の広がりをもっている。 d) 飛び離れた非常に大きな値の得られる確率は、あまり大きなものではない。</td> </tr> <tr> <td>2 [32]</td> <td>食品の消費の方も、カドミウムの濃度分布の方も、モデル化というものをしております。実際にある数字を使うのではなくて、それこそとんでもなく高い濃度というのはどこで出るかわからないということを考えまして、分布の尻尾に当たる方を非常に長くとするような、例えばもしも計算で間違っているのであったら、消費者の保護がより確保できるような方に間違う方がいいということで、対数正規分布というモデル化をしております。・・・(中略)・・・もちろん、ほかのいろいろな違う分布をやることもありますが、今、世界では、対数正規分布というのが主に使われております。</td> </tr> <tr> <td>3 [33]</td> <td>一般に環境中の化学物質の分布は対数正規分布で表すことができるため、・・・(以下、省略)。</td> </tr> </tbody> </table>	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	濃度分布を対数正規分布とした例		1 [31]	作業場内における有害物質の濃度の分布は、時間的にも空間的にも正規型の分布より左側（低濃度側）にかたよった型になることが多く、次のような理由から正規型ではなく対数正規型の分布に近いことが予測される。 a) 環境中有害物質の濃度は広い範囲にわたって分布し、最低値と最高値の比はしばしば 100 倍から 1 000 倍にもなることがある。 b) 濃度は物理的に負の値にはなり得ない。 c) 測定値の変動の大きさは測定された濃度の程度の広がりをもっている。 d) 飛び離れた非常に大きな値の得られる確率は、あまり大きなものではない。	2 [32]	食品の消費の方も、カドミウムの濃度分布の方も、モデル化というものをしております。実際にある数字を使うのではなくて、それこそとんでもなく高い濃度というのはどこで出るかわからないということを考えまして、分布の尻尾に当たる方を非常に長くとするような、例えばもしも計算で間違っているのであったら、消費者の保護がより確保できるような方に間違う方がいいということで、対数正規分布というモデル化をしております。・・・(中略)・・・もちろん、ほかのいろいろな違う分布をやることもありますが、今、世界では、対数正規分布というのが主に使われております。	3 [33]	一般に環境中の化学物質の分布は対数正規分布で表すことができるため、・・・(以下、省略)。
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																								
濃度分布を対数正規分布とした例																											
1 [31]	作業場内における有害物質の濃度の分布は、時間的にも空間的にも正規型の分布より左側（低濃度側）にかたよった型になることが多く、次のような理由から正規型ではなく対数正規型の分布に近いことが予測される。 a) 環境中有害物質の濃度は広い範囲にわたって分布し、最低値と最高値の比はしばしば 100 倍から 1 000 倍にもなることがある。 b) 濃度は物理的に負の値にはなり得ない。 c) 測定値の変動の大きさは測定された濃度の程度の広がりをもっている。 d) 飛び離れた非常に大きな値の得られる確率は、あまり大きなものではない。																										
2 [32]	食品の消費の方も、カドミウムの濃度分布の方も、モデル化というものをしております。実際にある数字を使うのではなくて、それこそとんでもなく高い濃度というのはどこで出るかわからないということを考えまして、分布の尻尾に当たる方を非常に長くとするような、例えばもしも計算で間違っているのであったら、消費者の保護がより確保できるような方に間違う方がいいということで、対数正規分布というモデル化をしております。・・・(中略)・・・もちろん、ほかのいろいろな違う分布をやることもありますが、今、世界では、対数正規分布というのが主に使われております。																										
3 [33]	一般に環境中の化学物質の分布は対数正規分布で表すことができるため、・・・(以下、省略)。																										

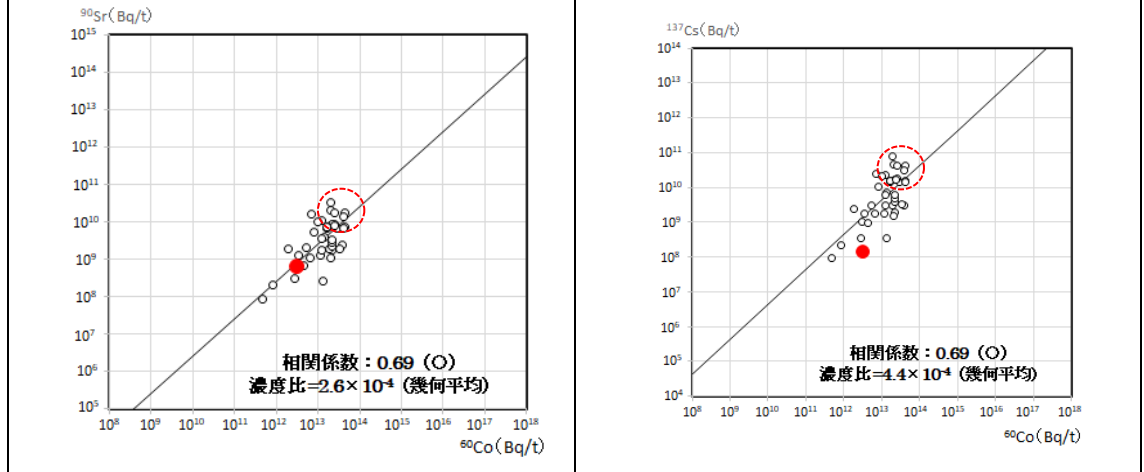
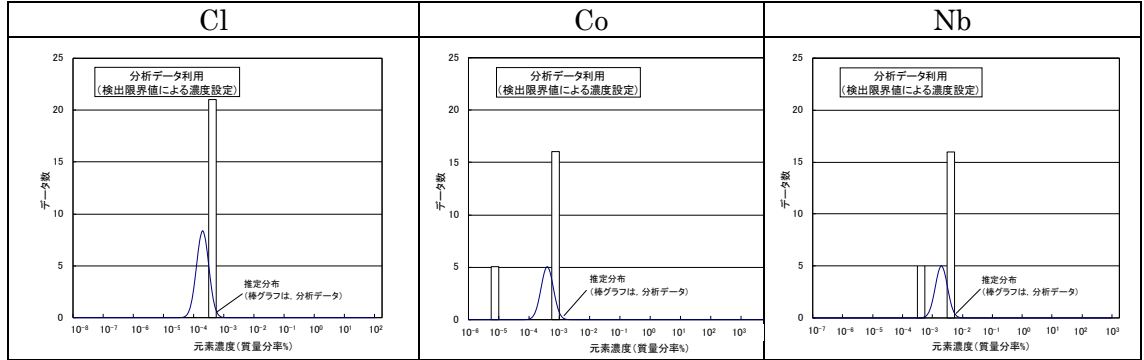
中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム
第3回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
○「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				
				<p>4 [34] 兵庫県下の陸水試料や環境調査としての毛髪試料を精力的に分析した。特に、毛髪試料では分析法の確立を図りながら非汚染地域の多数の試料を分析し、約20元素を定量し、元素ごとの特徴を明らかにした。すなわち、必須元素は正規分布に、非必須元素は対数正規分布になり、これらの中央値又は幾何平均値が環境試料中の元素濃度の取扱いに有効であることを示した。</p> <p>5 [35] 河川水中の微量元素の濃度分析 全国55の河川から集めた77試料について希土類元素、トリウム及びウラニウム（16元素）の濃度の平均値と範囲が明らかにされた。対象としたすべての元素濃度は非常に低く、高くても100 ppt レベル、低い場合には、1 ppt 以下となった。各元素の濃度幅は非常に広く3桁程度の広がりを示した（津村, 1991）。わが国の陸水試料約80点について超微量元素38種類を分析した結果、各元素とも濃度範囲は非常に広く頻度分布は対数正規分布をすることが分かった。</p> <p>6 [36] 一般に金属鉱床では、地球化学的な元素の含量の分布の型は対数正規分布ないしは、二項分布に近い分布をするといわれているが、中津河鉱床の探鉱坑道におけるように、比較的狭い範囲から相当多数の新鮮な試料が得られた場合に限り統計すると、ウランは二項分布型、トリウムは対数正規分布型を示す。</p> <p>7 [37] 元素の地殻中の品位（濃度）分布は、L. H. Ahrens によれば対数正規分布で、その最多量値は平均地殻存在度の付近にあって、鉱石品位領域ではLasky 法則に従うと論じた。</p> <p>8 [38] Geology and mining. In the Earth's crust, the concentration of elements and their radioactivity usually follow a log-normal distribution. Environment. The distribution of particles, chemicals, and organisms in the environment is often log-normal.</p> <p>9 [39] Frequency distribution plots of K, Rb, Sc, V, Co, Ga, Cr, and Zr in Ontario diabase, Sc, V, Ga, Cr, La, and Zr in Canadian granite, K, Rb, and Cs in New England granite and F and Mo in granite from various localities are regular, but assume decided positive skewness when dispersion is large, hence, distribution of concentration is not normal. All distributions become normal, or nearly so, provided the variate (concentration of an element) is transformed to log concentration: this leads to a statement of a fundamental (lognormal) law concerning the nature of the distribution of the concentration of an element in specific igneous rocks.</p>
<p>13. 「I. 2. 4. 3 濃度比の決定方法」 (1) 「a」濃度比の算出」濃度比は幾何平均又は算術平均で算出するとしていますが、廃棄体の放射能濃度が第二種廃棄物埋設に係る許可を受けたところによる最大放射能濃度を超えないことを確実にするため、算出値の処理方法について説明してください。また、用語「幾何平均」は標準中に11箇所(図B. 6、表G. 13、I. 2. 4. 3、図I. 8、図I. 9、K. 1. 4)記載されていますが、その他は「平均」と記載されています。「平均」と記載しているものは</p>	<p>「I. 2. 4. 3 濃度比の決定方法」は、埋設総放射能の評価には幾何平均としているが、最大放射能濃度の評価においては、「濃度比の分布形状が対数正規分布に明らかに従わず、ばらつきを踏まえた保守性の考慮が必要な場合」に、算術平均などによって濃度比を算出すると規定しており、濃度比の分布形状が対数正規分布の場合における最大放射能濃度の算出方法の処理方法が明確でないことから質問したものです。また、「平均放射能濃度」、「平均濃度」、「平均値」の用語があり、</p>	<p>回答は、最大放射能濃度を評価する場合の濃度比の設定に算術平均を適用するとありますが、附属書K（濃度分布評価法によって決定する場合の計算例）のK. 1. 4b)においては、「1) 廃棄物の総放射能を評価する場合」は「廃棄物の総放射能を評価する場合には、放射能濃度の算術平均値と廃棄物の総質量とを用いる。」「2) 最大放射能濃度を評価する場合には、計算値における正のばらつきを考慮し、放射能濃度の幾何平均値及び標準偏差を用いる」と規定しています。矛盾しているように読めるため、これらの関係を説明してください。また、回答で示されたCl及びNbは決定係数（相関係数の2乗）が0.5以上ですが、図I. 8のSr、I、Cs及びNpは決定係数が0.5未満です。データの充</p>	<p>回答可能</p>	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p>濃度比法における濃度比の設定に適用する「平均」の考え方は、適用する評価対象の放射能に合わせて、以下のとおりに使い分けます。</p> <p>算術平均： 最大放射能濃度を評価する場合の濃度比の設定に適用 算術平均は保守性をもった平均値である。(回答13(4)も参照ください)</p> <p>幾何平均： 平均放射能濃度及び総放射能を評価する場合の濃度比の設定に適用 幾何平均は全体の放射能濃度の平均を適切に評価する平均値である。 (回答13(4)も参照ください)</p> <p>なお、濃度比法と濃度分布評価における最大放射能濃度の評価方法に関しましては、表13(1)に示しますように、評価用の係数の設定と濃度分布からの濃度の設定によって適用する平均値に差異があります。</p>

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																			
<p>○「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</p>																							
<p>「幾何平均」又は「算術平均」のいずれが適切か個別に、根拠と共に説明してください。</p>	<p>対数平均と算術平均の使い分けが明確ではありません。</p>	<p>足性を確認する観点から、図 I.8 の残りの元素（C、Ni、Sr、Tc、I、Cs、Np）についても分析値との比較図を示してください。</p>		<p>表 13(1)-1 最大放射能濃度を超えていないことを確認するための放射能濃度の決定方法</p> <table border="1" data-bbox="1783 369 2843 764"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>濃度比法の場合</th> <th>濃度分布評価法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>評価方法の概要</td> <td></td> <td>放射化計算によって評価対象核種と Key 核種の濃度比を設定し、Key 核種の放射能濃度に濃度比を乗じて評価対象核種の放射能濃度を決定する。</td> <td>放射化計算によって評価対象核種の放射能濃度分布を評価し、この放射能濃度分布を使用して、評価対象核種の放射能濃度を決定する。</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">利用 する 放射能濃 度分布</td> <td>評価係数</td> <td>濃度比には「算術平均」を適用する</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>放射能濃度分布</td> <td>—</td> <td>分布の平均と標準偏差を適用する</td> </tr> <tr> <td>放射能濃度の決定</td> <td></td> <td>Key 核種濃度（非破壊外部測定又は、放射化計算結果を適用）に算術平均濃度比を乗じて評価する</td> <td>放射能濃度分布を評価した計算結果の最大値を用いて放射能濃度を評価する</td> </tr> </tbody> </table> <p>標準では、区間推定法による放射化計算の結果と分析値の比較は行っておりません。 しかしながら、分析を行ったサンプル採取位置と区間推定法でランダムサンプリングした評価位置は、一致するものではありませんが、濃度比法による計算結果に分析値をプロットしたものを参考までに、次図（図 I.8(1)～(3)に分析データをプロットしたもの）に示します。 なお、図中の「●」は、チャンネルボックスの中央部から採取した試料を放射化学分析した結果ですので、これと比較する計算結果は、比較的高い放射能濃度領域（赤破線の○で囲った部分）の計算値プロットである「○」との比較になります。 ただし、Tc-99、I-129、Np-237 は分析結果が検出下限値となっています。 さらに、比較に適用した元素濃度の分析値は、次図（図 I.5 から抜粋）に示すように、検出下限値しか得られていませんので、区間推定法の元素濃度の設定は、検出下限値から設定した濃度分布からランダムサンプリングした元素濃度であることにも留意が必要です。</p> <div data-bbox="1783 1184 2843 1692"> </div> <p>図 I.8(1)－ZrTN804D（BWR チャンネルボックスの本体）の評価対象核種及び Key 核種（⁶⁰Co）の散布図（放射化計算結果）から抜粋 （●は分析値を示す。Co-60：3.3E+12Bq/t、Cl-36：1.4E+7Bq/t、Nb-94：4.4E+7Bq/t） 注記1 ³⁶Cl 及び ⁹⁴Nb の放射能濃度は、標準には示していない事業者から提供された分析データを使用している。 注記2 分析したサンプルは CB の中央部からの採取であり、最も高い濃度を示す部位からの採取と</p>			濃度比法の場合	濃度分布評価法	評価方法の概要		放射化計算によって評価対象核種と Key 核種の濃度比を設定し、Key 核種の放射能濃度に濃度比を乗じて評価対象核種の放射能濃度を決定する。	放射化計算によって評価対象核種の放射能濃度分布を評価し、この放射能濃度分布を使用して、評価対象核種の放射能濃度を決定する。	利用 する 放射能濃 度分布	評価係数	濃度比には「算術平均」を適用する	—	放射能濃度分布	—	分布の平均と標準偏差を適用する	放射能濃度の決定		Key 核種濃度（非破壊外部測定又は、放射化計算結果を適用）に算術平均濃度比を乗じて評価する	放射能濃度分布を評価した計算結果の最大値を用いて放射能濃度を評価する
		濃度比法の場合	濃度分布評価法																				
評価方法の概要		放射化計算によって評価対象核種と Key 核種の濃度比を設定し、Key 核種の放射能濃度に濃度比を乗じて評価対象核種の放射能濃度を決定する。	放射化計算によって評価対象核種の放射能濃度分布を評価し、この放射能濃度分布を使用して、評価対象核種の放射能濃度を決定する。																				
利用 する 放射能濃 度分布	評価係数	濃度比には「算術平均」を適用する	—																				
	放射能濃度分布	—	分布の平均と標準偏差を適用する																				
放射能濃度の決定		Key 核種濃度（非破壊外部測定又は、放射化計算結果を適用）に算術平均濃度比を乗じて評価する	放射能濃度分布を評価した計算結果の最大値を用いて放射能濃度を評価する																				

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
○「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				
				<p>考えられる（したがって、計算結果の最大領域の結果（赤破線の○で囲った部分）との比較となる）。</p> <p>注記3 濃度比法の計算に適用した元素 Cl、Co 及び Nb の濃度分布は、元素分析の検出下限からの対数正規分布で設定したもの（下図（図 I.5）参照）</p> <p>注記4 相関係数の右の（ ）内は相関関係の t 検定を行った結果で、○：相関関係が認められる。×：相関関係が認められない。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="1783 590 2309 1094"> <p style="text-align: center;">¹⁴C</p> </div> <div data-bbox="2309 590 2843 1094"> <p style="text-align: center;">⁶³Ni</p> </div> </div> <p>図 I.8(2)－ZrTN804D（BWR チャンネルボックスの本体）の評価対象核種及び Key 核種（⁶⁰Co）の散布図（放射化計算結果）から抜粋</p> <p>（●は分析値を示す。Co-60：3.3E+12Bq/t，C-14：1.6E+10Bq/t，Ni-63：9.9E+10Bq/t）</p> <p>注記1 ¹⁴Cl 及び ⁶³Ni の放射能濃度は、標準には示していない事業者から提供された分析データを使用している。</p> <p>注記2 分析したサンプルは CB の中央部からの採取であり、最も高い濃度を示す部位からの採取と考えられる（したがって、計算結果の最大領域の結果（赤破線の○で囲った部分）との比較となる）。</p> <p>注記3 C-14 及び Ni-63 の起源元素である N 及び Ni は元素の分析結果が得られている。</p> <p>注記4 相関係数の右の（ ）内は相関関係の t 検定を行った結果で、○：相関関係が認められる。×：相関関係が認められない。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="1783 1482 2309 1528" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">⁹⁰Sr</div> <div data-bbox="2309 1482 2843 1528" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">¹³⁷Cs</div> </div>

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
<p>○「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</p>				
				 <p>図 I.8(3)–ZrTN804D (BWR チャンネルボックスの本体) の評価対象核種及び Key 核種 (^{60}Co) の散布図（放射化計算結果）から抜粋 (●)は分析値を示す。Co-60 : $3.3\text{E}+12\text{Bq/t}$, Sr-90 : $6.0\text{E}+8\text{Bq/t}$, Cs-137 : $1.4\text{E}+8\text{Bq/t}$ 注記 1 ^{90}Sr 及び ^{137}Cs の放射能濃度は、標準には示していない事業者から提供された分析データを使用している。 注記 2 分析したサンプルは CB の中央部からの採取であり、最も高い濃度を示す部位からの採取と考えられる（したがって、計算結果の最大領域の結果（赤破線の○で囲った部分）との比較となる）。 注記 3 相関係数の右の () 内は相関関係の t 検定を行った結果で、○：相関関係が認められる。×：相関関係が認められない。</p>  <p>図 I.5–ZrTN804D の元素分析データ及び濃度分布条件設定結果から抜粋</p>
<p>(2) 40 点のデータで濃度比を決定するデータ数としては充足しているとの評価であるが、当該計算で求めた核種比が実際のものと同等あるいは保守的になっていることを分析データに基づいて説明してください。</p>	<p>計算結果と分析結果の差がどの程度あるのかについて、質問したものです。</p>	<p>①8 (濃度比法) では、分析値が Co-60 : $3.3\text{E}+12\text{Bq/t}$, Cl-36 : $1.4\text{E}+7\text{Bq/t}$, Nb-94 : $4.4\text{E}+7\text{Bq/t}$ に対して、計算値がそれぞれ 2 オーダー程度高くなり、保守的となっていますが、資料 1-1 の 39 ページ (点推定/t に対して計算結果が Co-60 : $3.4\text{E}+12\text{Bq/t}$, 分析結果 Ag-108m : $2.5\text{E}+14\text{Bq/t}$ に対して計算結果が Ag-108m : $2.6\text{E}+14\text{Bq/t}$ とほとんど保守性がありません。これらの違いはどこにあるのか説明してください。</p>	<p>回答可能</p>	<p>ご指摘の点への回答を以下に示します。 附属書 F で示しております点推定法による計算結果と分析結果の比較と、上記の附属書 I に示しました区間推定法による計算結果と分析結果の比較は、下記のように比較対象としている評価の内容が異なりますので、差異が出ているものです。 ① 計算方法の妥当性確認 (附属書 F の点推定法による計算結果と分析結果の比較) ② 放射能評価における保守性/不確かさ (附属書 I の区間推定法による計算結果と分析結果の比較) この両者の違いに関して、表 13(2)-1 に示します。</p>

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																														
○「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																																		
				<p>表 13(2)-1 計算方法の妥当性確認の評価結果と放射能評価上の保守性／不確かさの違い</p> <table border="1" data-bbox="1765 401 2867 1402"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>計算方法の妥当性確認</th> <th>放射能評価における保守性／不確かさ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>評価方法</td> <td></td> <td>評価対象物の同一位置における計算結果と採取サンプルの分析結果の比較（保守性は入っていない）</td> <td>区間推定法による放射能濃度の評価結果の不確かさの評価（実際の適用事例で、保守性が入っている）</td> </tr> <tr> <td>計算コードの検証</td> <td></td> <td>ORIGEN、MCNPなどの計算コードの開発段階でのベンチマーク試験結果などによる確認</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>適用手法</td> <td></td> <td>点推定法</td> <td>区間推定法</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">入力データ</td> <td>元素条件</td> <td>評価対象物の品質管理材で、かつこの元素分析で分析結果が得られた元素から生成する核種のみでの比較を行う</td> <td>評価対象物と同一材質の全起源元素の分析データの分布（検出下限値がある場合は、これを考慮して設定するため、バイアスが加わる）からのランダムサンプリング</td> </tr> <tr> <td>中性子条件</td> <td>評価対象物の評価位置（ローテーションがあれば、その移動条件の詳細を含める）における中性子フルエンス率、中性子スペクトル及びこれらから設定した放射化断面積</td> <td>①評価対象物を分割した区間（軸方向、径方向）ごとに評価した中性子フルエンス率、中性子スペクトル（放射化断面積）を評価 ②放射化物の評価位置をランダムサンプリング（移動があれば、パターン化して設定）し、①でマッピングされた分布から中性子条件を選択して設定</td> </tr> <tr> <td>照射条件</td> <td>評価対象物が実際に受けた照射時間（ローテーションがあればその移動条件、照射停止時間も含める）</td> <td>評価対象物の照射時間の実績分布及び代表的な照射パターンを適用した照射条件からのランダムサンプリング</td> </tr> <tr> <td>評価結果の妥当性又は保守性などの評価</td> <td></td> <td>チャンネルボックスのCo-60の例： 分析値： 3.3×10^{12} Bq/t 計算値： 3.4×10^{12} Bq/t</td> <td>濃度比法適用した場合： 元素データのND値によるバイアスに加え、評価した平均放射能濃度としては、99%信頼上限値まで約1.7倍のばらつきを有する。</td> </tr> </tbody> </table>			計算方法の妥当性確認	放射能評価における保守性／不確かさ	評価方法		評価対象物の同一位置における計算結果と採取サンプルの分析結果の比較（保守性は入っていない）	区間推定法による放射能濃度の評価結果の不確かさの評価（実際の適用事例で、保守性が入っている）	計算コードの検証		ORIGEN、MCNPなどの計算コードの開発段階でのベンチマーク試験結果などによる確認	同左	適用手法		点推定法	区間推定法	入力データ	元素条件	評価対象物の品質管理材で、かつこの元素分析で分析結果が得られた元素から生成する核種のみでの比較を行う	評価対象物と同一材質の全起源元素の分析データの分布（検出下限値がある場合は、これを考慮して設定するため、バイアスが加わる）からのランダムサンプリング	中性子条件	評価対象物の評価位置（ローテーションがあれば、その移動条件の詳細を含める）における中性子フルエンス率、中性子スペクトル及びこれらから設定した放射化断面積	①評価対象物を分割した区間（軸方向、径方向）ごとに評価した中性子フルエンス率、中性子スペクトル（放射化断面積）を評価 ②放射化物の評価位置をランダムサンプリング（移動があれば、パターン化して設定）し、①でマッピングされた分布から中性子条件を選択して設定	照射条件	評価対象物が実際に受けた照射時間（ローテーションがあればその移動条件、照射停止時間も含める）	評価対象物の照射時間の実績分布及び代表的な照射パターンを適用した照射条件からのランダムサンプリング	評価結果の妥当性又は保守性などの評価		チャンネルボックスのCo-60の例： 分析値： 3.3×10^{12} Bq/t 計算値： 3.4×10^{12} Bq/t	濃度比法適用した場合： 元素データのND値によるバイアスに加え、評価した平均放射能濃度としては、99%信頼上限値まで約1.7倍のばらつきを有する。
		計算方法の妥当性確認	放射能評価における保守性／不確かさ																															
評価方法		評価対象物の同一位置における計算結果と採取サンプルの分析結果の比較（保守性は入っていない）	区間推定法による放射能濃度の評価結果の不確かさの評価（実際の適用事例で、保守性が入っている）																															
計算コードの検証		ORIGEN、MCNPなどの計算コードの開発段階でのベンチマーク試験結果などによる確認	同左																															
適用手法		点推定法	区間推定法																															
入力データ	元素条件	評価対象物の品質管理材で、かつこの元素分析で分析結果が得られた元素から生成する核種のみでの比較を行う	評価対象物と同一材質の全起源元素の分析データの分布（検出下限値がある場合は、これを考慮して設定するため、バイアスが加わる）からのランダムサンプリング																															
	中性子条件	評価対象物の評価位置（ローテーションがあれば、その移動条件の詳細を含める）における中性子フルエンス率、中性子スペクトル及びこれらから設定した放射化断面積	①評価対象物を分割した区間（軸方向、径方向）ごとに評価した中性子フルエンス率、中性子スペクトル（放射化断面積）を評価 ②放射化物の評価位置をランダムサンプリング（移動があれば、パターン化して設定）し、①でマッピングされた分布から中性子条件を選択して設定																															
	照射条件	評価対象物が実際に受けた照射時間（ローテーションがあればその移動条件、照射停止時間も含める）	評価対象物の照射時間の実績分布及び代表的な照射パターンを適用した照射条件からのランダムサンプリング																															
評価結果の妥当性又は保守性などの評価		チャンネルボックスのCo-60の例： 分析値： 3.3×10^{12} Bq/t 計算値： 3.4×10^{12} Bq/t	濃度比法適用した場合： 元素データのND値によるバイアスに加え、評価した平均放射能濃度としては、99%信頼上限値まで約1.7倍のばらつきを有する。																															
		<p>②図 I.8 では分析データが1点しか示されていませんが、サンプリングの不確かさや分析の不確かさを踏まえても計算によって求めた核種比が実測によって求めた核種比と同等あるいは保守的であることを説明してください。</p>	<p>回答可能</p>	<p>ご指摘の点への回答を以下に示します。</p> <p>(1) サンプリングの不確かさ チャンネルボックスからのサンプリングにおいては、任意の位置から採取できる専用のサンプリング装置を設計、製作し、CBのシリアル番号（炉内位置、使用履歴）を確認した上で、所定の面と高さから円盤状のサンプル（Φ4.5cm）を採取しており、採取位置のズレはmm単位です。また、放射化計算で放射能濃度を評価した領域はサンプリング位置の中心 1.0cm×1.0cm で実施しています。下図にサンプリング位置とMCNPにて解析した熱中性子束分布の計算例を示します。 図に示すようにサンプリング位置における熱中性子束分布は平坦であり、サンプルの大きさ（Φ4.5cm）と計算の評価領域（1.0cm×1.0cm）の違いによる影響は無視できます。</p>																														

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
○「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				
				<p>(数値は1粒子あたりに規格化された値) 図 MNCNPにて解析した熱中性子束分布の計算例：9×9燃料事業者から提供されたデータ</p> <p>(2) 分析の不確かさ 核種分析においては、試料調整時の秤量、定容(希釈)、核種計測において不確かさが含まれます。チャンネルボックスのCo-60分析において、拡張相対不確かさ(相対不確かさ×包含係数2)は15%以下の実績があります。</p> <p>したがって、表13(2)-1に示しました計算値/分析値の誤差3%には、約±15%程度の不確かさが含まれますので、計算値/分析値は-10%～+21%程度の範囲内の3%誤差と言えます。</p>
<p>(3) 「a)濃度比の算出」で「評価対象廃棄物全体の放射能濃度は、様々な放射化条件下にあり、数桁にわたる広範囲の放射能濃度で分布するものもあり、一般に、難測定核種及びKey核種の放射能濃度は、対数正規分布で評価される。また、難測定核種及びKey核種の濃度比も基本的に相関関係をもつ二変量対数正規分布に従うため、」との記載されている。「評価対象廃棄物全体」とは、どのような範囲に限定されているかを説明してください。また、「一般に、難測定核種及びKey核種の放射能濃度は、対数正規分布で評価される。」は、根拠となるデータに基づいて説明してください(付図では、核種比で示されているだけです)。</p>	<p>二変量対数正規分布の必要条件として、「標準では濃度比が対数正規分布に従っている」ことが記載されています。しかし、「濃度比が対数正規分布に従っている」ことを前提とした場合でも、難測定核種と測定核種の放射能濃度には相関性があります。したがって、二変量対数正規分布の必要条件を示して欲しい、ということが本質問の意図です。</p>	<p>(評価対象廃棄物全体) — (用語のさすものは理解しましたので、追加の質問はありません。) (難測定核種及びKey核種の放射能濃度は、対数正規分布で評価される) (難測定核種とKey核種の濃度が二変量対数正規分布に従う) 回答で示されている文献は、難測定核種と測定核種という2つのパラメータが二変量対数分布に従っているという前提条件で、難測定核種の放射能を評価しているものです。 2つのパラメータが二変量対数分布に従っていると判断できる条件(必要条件)が示されている文献等を提示してください。</p>	<p>回答可能</p>	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p>(評価対象廃棄物全体) 附属書IのI.2.4.3濃度比の決定方法に示しています「評価対象廃棄物全体」は、放射能濃度を求める対象とする放射化金属の一つ又は一部ではなく、放射化金属の全体を意味しています。 (例 チャンネルボックスであれば、1体だけでなく全チャンネルボックス、シュラウドであれば、切断片でなくシュラウド全体)</p> <p>(難測定核種及びKey核種の放射能濃度は、対数正規分布で評価される) 標準の例では、濃度比法における個々の核種の放射能濃度分布は示していませんが、同じ区間推定法の放射能濃度分布評価法の例(附属書Kの図K.6:下図参照)において放射能濃度の分布を示しており、対数正規分布であることが観察されています。 (回答12及び次の回答での引用文献も参照ください。)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; border: 1px solid black; padding: 5px;"> ^{60}Co ^{36}Cl </div>

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
<p>○「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</p>				
<p>らに、「難測定核種及びKey核種の濃度比も基本的に相関関係をもつ二変数対数正規分布に従う」とは、難測定核種とKey核種の濃度が二変数対数正規分布に従う、という意味でしょうか？ そうである場合、根拠となるデータ（二変数対数正規分布と判断する方法も含めて）に基づいて説明してください（付図では、核種比で示されているだけです。二変数対数正規分布に従うことと、濃度比が対数正規分布に従うことが同値であることを示してください。）。</p>				<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="1780 336 2300 619"> <p>算術平均値 1.1×10¹² (Bq/t) 対数平均値 11.5 (対数) 標準偏差 3.2×10¹¹ (Bq/t) 標準偏差 0.7 (対数)</p> </div> <div data-bbox="2315 336 2834 619"> <p>算術平均値 1.2×10¹⁰ (Bq/t) 対数平均値 9.2 (対数) 標準偏差 1.6×10⁹ (Bq/t) 標準偏差 1.0 (対数)</p> </div> </div> <p>(難測定核種とKey核種の濃度が二変数対数正規分布に従う)</p> <p>「二変数対数正規分布」¹⁾は、難測定核種とKey核種の双方の核種の放射能濃度分布がそれぞれ正規性を示し、かつ双方の核種間の相関関係を利用した分布モデルであり、次式で示されますように、2つの正規分布を示す変数の間で相関関係がある場合の分布で扱うモデルです。</p> $f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\frac{(x-\mu_1)^2}{\sigma_1^2} - \frac{2\rho(x-\mu_1)(y-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(y-\mu_2)^2}{\sigma_2^2}\right)\right)$ <p>ここで、μ_1、μ_2は変数 x、yの平均値、σは変数 x、yの分散、ρは変数 x、yの相関係数である。</p> <p>一般的に放射能濃度の分布は数桁に及ぶため、対数正規分布を示す²⁾ことから、評価対象核種とKey核種間との相関性を評価することによって、この「二変数対数正規分布」の考え方が適用できます。このため、その適用性の判断は、各核種の濃度分布の正規性と核種間の相関性で評価します。 なお、参考までに、標準に示しました計算結果を整理した結果の一例を図13(3)-1に示します。</p> <p>注1 二変数正規分布及びその解析手法を利用して、評価している例としては、下記があります。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 海底地殻変動観測の統計的な精度評価手法, 海洋情報部研究報告 第53号 平成28年3月1日 - L20002, 放射性廃棄物処分におけるベントナイト層の透水係数の合理的な品質管理手法の提案 - 地球統計学手法の適用性に関する検討 -, 電力中央研究所, 2021/03 - 稲田, CTA 大口径望遠鏡初号機の光学性能最適化に向けた分割鏡測定とその配置の検討, 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻, 平成29年1月 - 八巻, 巻き込み2変数正規分布に従う位相スペクトルをもつ2信号間の位相限定相関関数の統計的性質, 計測自動制御学会 東北支部 第294回 研究集会, 2015 - 森地, 情報提供システム評価のための交通行動分析手法に関する研究, 交通工学 Vol130, No3, 1995 <p>注2 濃度等の分布が対数正規性を示していると報告された文書（一例）</p> <ul style="list-style-type: none"> [1] 福島第一原子力発電所事故 事務局長報告書（引用 UNITED NATIONS, FAO/IAEA Food Database, UNSCEAR 2013 Report, Attachment C-8 of Annex A: Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Nuclear Accident After the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2014).) [2] JAEA-Technology 2015-009 JPDR 保管廃棄物に対する放射能濃度評価方法の検討 (2) [3] 日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ Vol.7 No.2, 放射線安全の新しいパラダイム検討専門研究会報告書（引用 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation., UNSCEAR 1993 Report (1993)） [4] 平成30年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費助金（固体廃棄物の処理処分に関する研究開発）」2019年度成果 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（IRID）

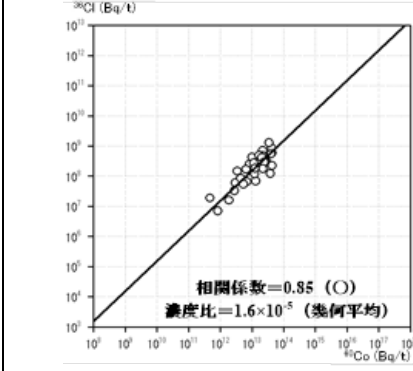
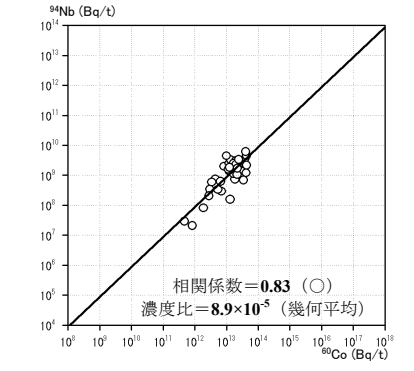
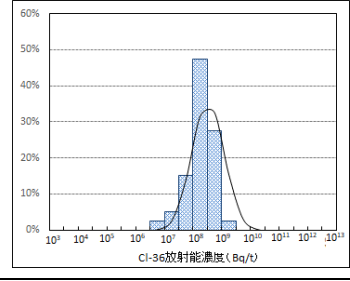
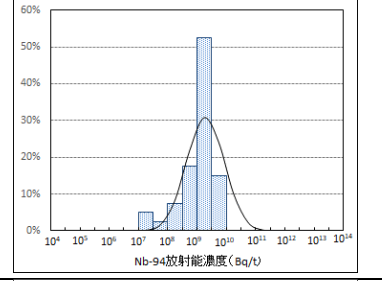
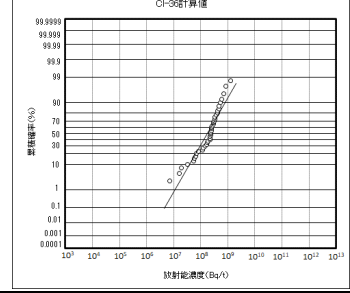
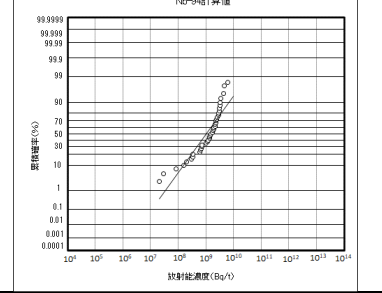
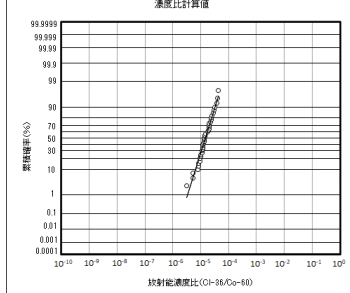
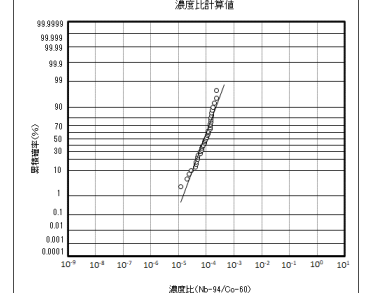
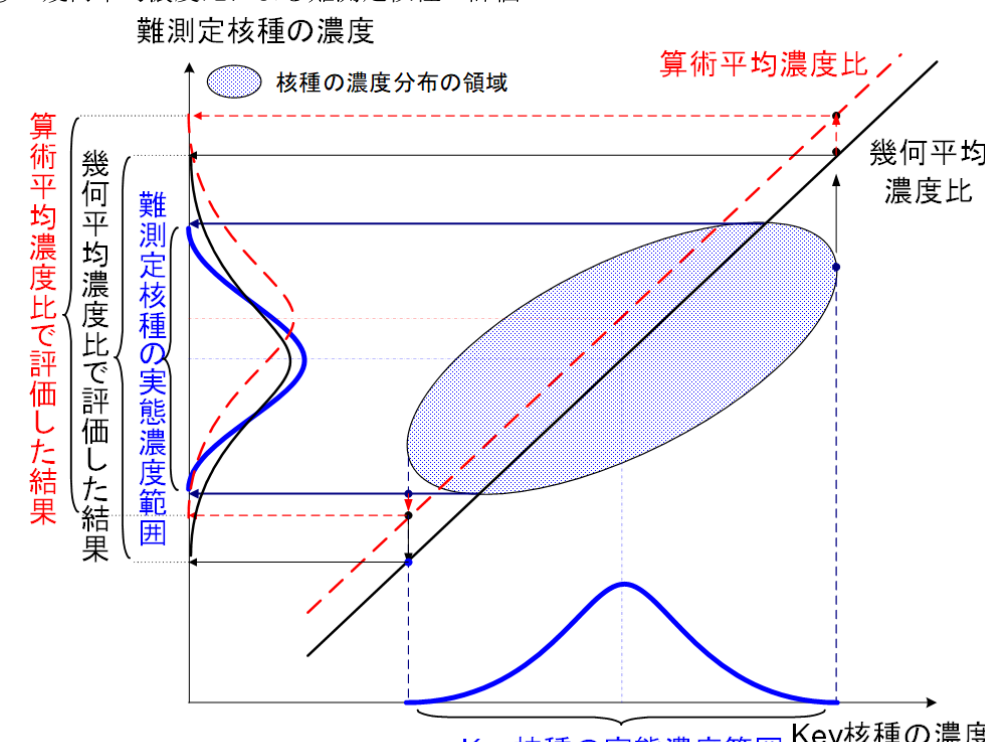
質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
<p>○「理論的方法の入力条件の設定方法の具体及び評価結果の不確かさ」に関するもの</p>				
				<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p>³⁶Cl</p>  <p>相関係数=0.85 (○) 濃度比=1.6×10⁻⁵ (幾何平均)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>⁹⁴Nb</p>  <p>相関係数=0.83 (○) 濃度比=8.9×10⁻⁵ (幾何平均)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%;"> <p>濃度分布による評価</p>  <p>Cl-36放射能濃度 (Bq/t)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>濃度分布による評価</p>  <p>Nb-94放射能濃度 (Bq/t)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%;"> <p>放射能濃度の正規確率による評価</p>  <p>Cl-36計算値</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>放射能濃度の正規確率による評価</p>  <p>Nb-94計算値</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%;"> <p>濃度比の正規確率による評価 (他の3核種の例が図I.10には示されている)</p>  <p>濃度比計算値</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>濃度比の正規確率による評価 (他の3核種の例が図I.10には示されている)</p>  <p>濃度比計算値</p> </div> </div>
<p>(4) 「a」濃度比の算出で「難測定核種及びKey核種の濃度比も基本的に相関関係をもつ二変量対数正規分布に従うため、複数回の放射化計算結果を使用して濃</p>	<p>二変量対数正規分布に従っているとして幾何平均値の濃度比を用いると、濃度比を算出するために用いたサンプルの測定核種の中央値の濃度付近よりも低い濃</p>	<p>幾何平均値による濃度比の適用条件を明確にして欲しい（例えば、濃度比算出に用いたサンプル値全体の放射能（あるいは放射能濃度）に限る。）。</p>	<p>回答可能</p>	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。なお、第3回会合中のご質問への回答も以下に含めました。</p> <p><u>(幾何平均による保守性)</u> 濃度比に幾何平均を使用する考え方は、過剰な保守性を排除するために、適用するものです。</p>


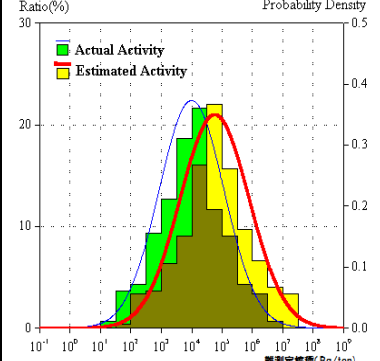
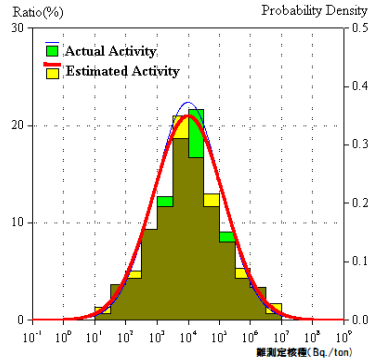

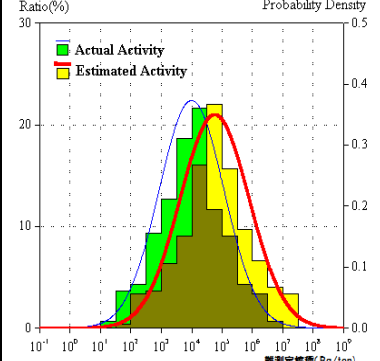
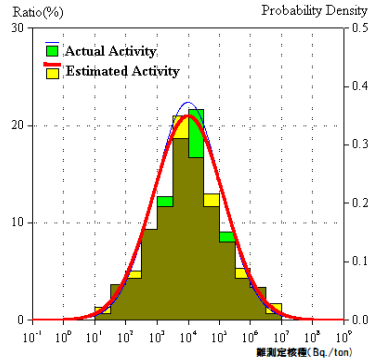

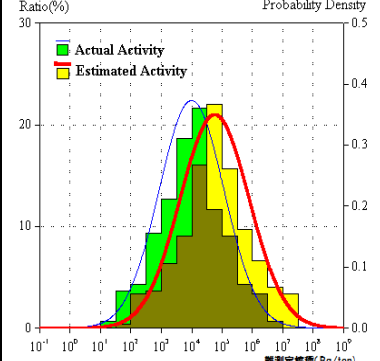
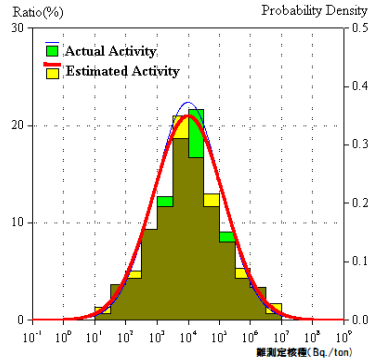
図 13(3)-1 相関性及び対数正規性を示す図の例

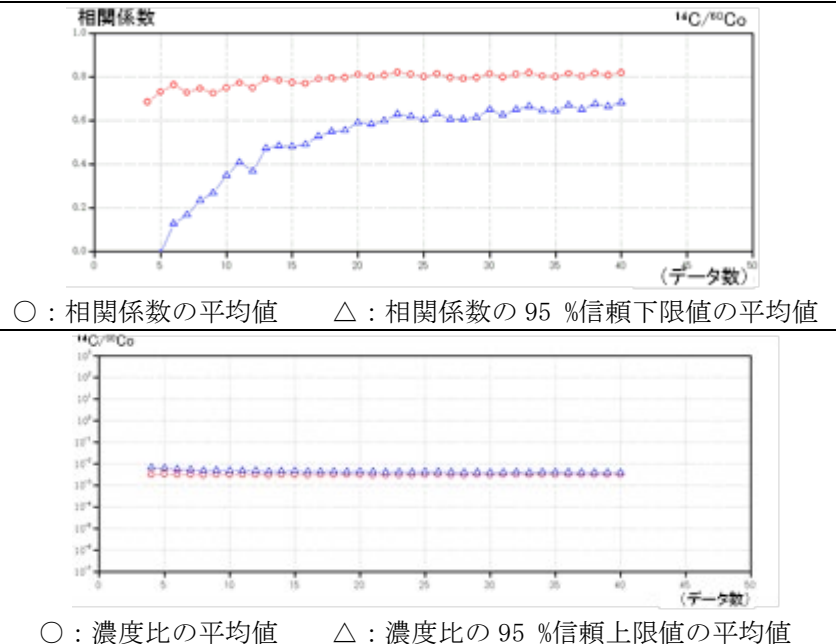
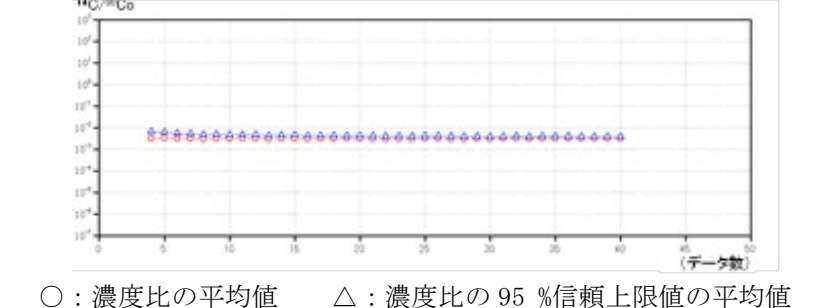
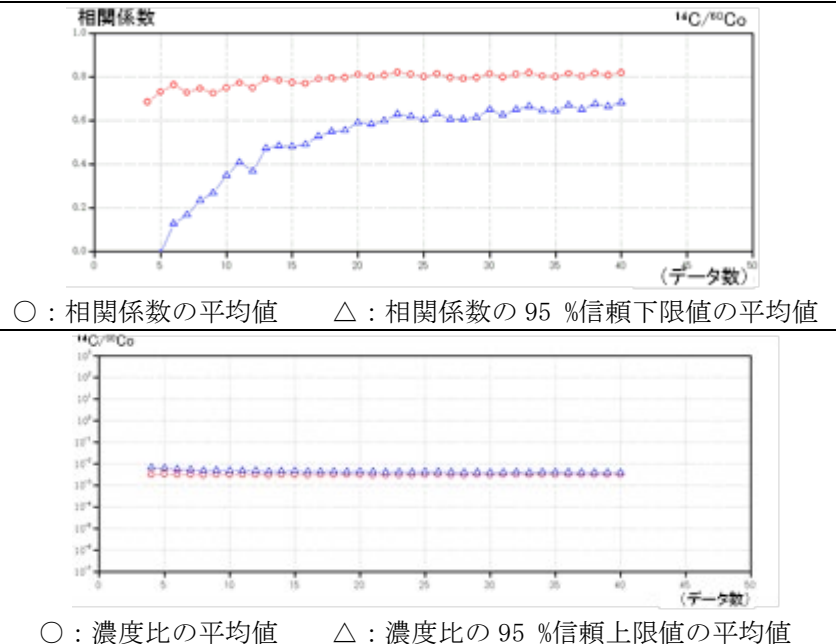
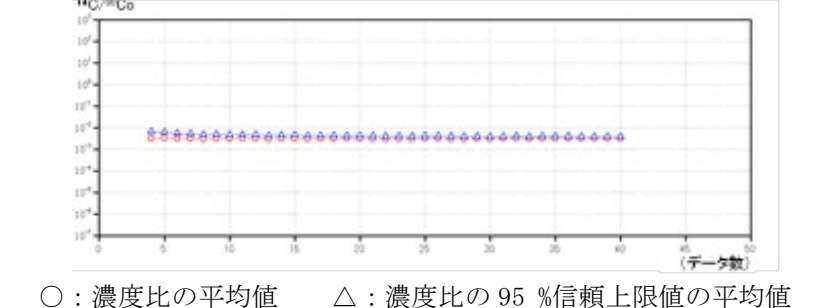
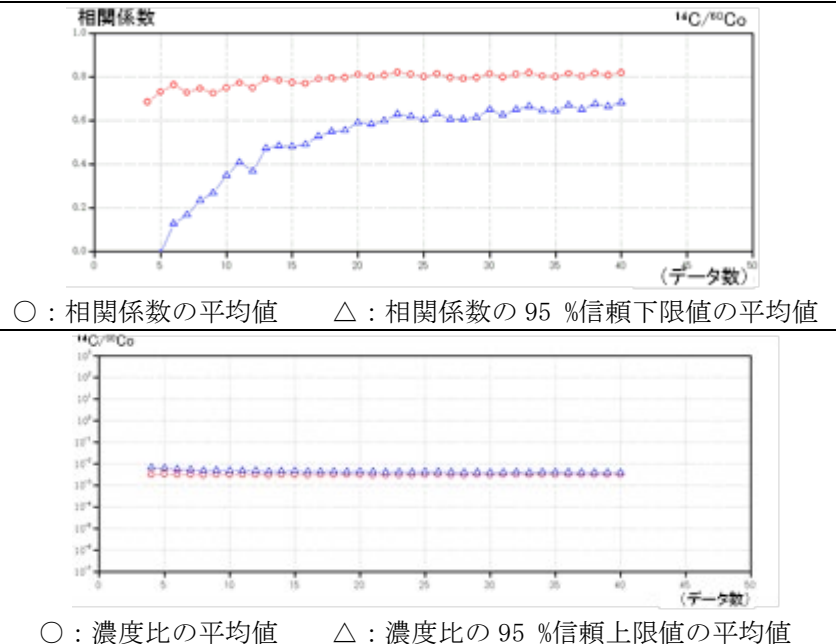
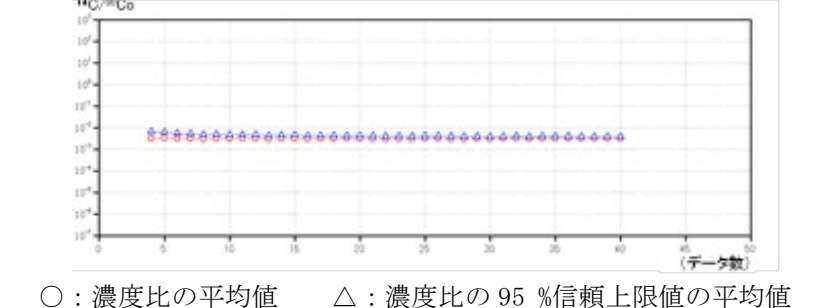
注記1 濃度分布及び正規確率の図は、現行の標準での記載はない。附属書Iの表I.17及び表I.21に示す放射化計算結果を用いて今回あらたに作図したもの。
 注記2 ⁶⁰Coとの相関図による評価において、相関係数の()内の「○記号」はt検定によって相関関係が認められたことを意味する。

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容												
<p>○「理論的方法の入力条件の設定方法及び評価結果の不確かさ」に関するもの</p>																
<p>度比を算出する場合には、幾何平均の適用が適切である。」とあります。濃度比が対数正規分布に従っているとした場合、濃度比として幾何平均を用いると難測定核種の放射能濃度が必ず保守的になることを示してください。また、難測定核種と Key 核種が二変量対数正規分布であるとして濃度比を幾何平均で求めた場合、二変量対数正規分布と判断した濃度範囲の廃棄物全体が同一の処分場あるいは処分場の同じ区画に埋設されることを担保する方法、または当該廃棄物全体が一つの廃棄体に入っていることが担保される方法を説明してください。</p>	<p>度では、難測定核種を真値よりも低めに評価することになってしまふことを懸念して質問したものです。</p>	<p>面談時の補足：幾何平均濃度比を適用した埋設施設での廃棄体の管理に関する条件の問い</p>		<p>ここで、Key 核種の濃度分布から難測定核種との相関関係を踏まえ、難測定核種の放射能濃度分布を推定評価するには、主に線形な関係を基本とした図 13(4)-1 に示す下記の 2 種類の算出式による評価方法があります。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 算術平均濃度比による難測定核種の評価 ② 幾何平均濃度比による難測定核種の評価  <p>図 13(4)-1 難測定核種の放射能濃度の評価に適用する算出式による差異のイメージ</p> <p>注 Key 核種は分析が容易な核種であるが、難測定核種は分析が難しく検出限界の影響を受けて濃度分布範囲が若干狭まることを踏まえ、傾きを 1 より小さくした。</p> <p>上図に示した 2 種類の評価方法について、その特徴を表 13(4)-1 に整理しました。まず、「算術平均」は、濃度分布のばらつきを加味できるため、スクリーニングレベルと組み合わせることで、「最大放射能濃度」の評価に適します。</p> <p>一方、「幾何平均」は、濃度分布を適切に評価できるため、「放射能量の総量」を算出するための放射能濃度の評価に適します。</p> <p>表 13(4)-1 算術平均濃度比と幾何平均濃度比による評価の比較</p> <table border="1" data-bbox="1751 1617 2849 1890"> <thead> <tr> <th>算出方法</th> <th>算術平均濃度比による評価</th> <th>幾何平均濃度比による評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>基本的な適用範囲</td> <td>算術平均は、「正規分布」に従う変数に対して望ましい平均値である。</td> <td>幾何平均は、「対数正規分布」に従う変数に対して望ましい平均値である。</td> </tr> <tr> <td>濃度比を適用して評価した分布の結果</td> <td>ばらつきの影響が加味され、分布の形状はあまり変えないものの、濃度の大きい方向にスライドさせる形での評価分布となる。</td> <td>分布の中心は変わらず、濃度の大小の方向に若干拡張させる形での評価分布となるが、ばらつきに大きく影響されない。</td> </tr> <tr> <td>適した</td> <td>分布のばらつきを加味するため、こ</td> <td>分布の中心を正しく評価し、かつ、分布</td> </tr> </tbody> </table>	算出方法	算術平均濃度比による評価	幾何平均濃度比による評価	基本的な適用範囲	算術平均は、「正規分布」に従う変数に対して望ましい平均値である。	幾何平均は、「対数正規分布」に従う変数に対して望ましい平均値である。	濃度比を適用して評価した分布の結果	ばらつきの影響が加味され、分布の形状はあまり変えないものの、濃度の大きい方向にスライドさせる形での評価分布となる。	分布の中心は変わらず、濃度の大小の方向に若干拡張させる形での評価分布となるが、ばらつきに大きく影響されない。	適した	分布のばらつきを加味するため、こ	分布の中心を正しく評価し、かつ、分布
算出方法	算術平均濃度比による評価	幾何平均濃度比による評価														
基本的な適用範囲	算術平均は、「正規分布」に従う変数に対して望ましい平均値である。	幾何平均は、「対数正規分布」に従う変数に対して望ましい平均値である。														
濃度比を適用して評価した分布の結果	ばらつきの影響が加味され、分布の形状はあまり変えないものの、濃度の大きい方向にスライドさせる形での評価分布となる。	分布の中心は変わらず、濃度の大小の方向に若干拡張させる形での評価分布となるが、ばらつきに大きく影響されない。														
適した	分布のばらつきを加味するため、こ	分布の中心を正しく評価し、かつ、分布														

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
----	-------------	-----------------------	-------	--------

○「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

				<p>評価対象 れに保守性を加えることにより、『最大放射能濃度』の評価に適する。</p> <p>の線形の傾きが1未満の場合、保守性も加わり、『放射能量算出のための放射能濃度』の評価に適する。</p> <p>相関係数=0.7を示す難測定核種と Key 核種の放射能濃度データを 300 点生成し、この各データが、個々の廃棄体の放射能濃度のデータであると想定して、「各々の難測定核種濃度のデータの値」と、各々の「Key 核種濃度に濃度比を乗じて算出した難測定核種の放射能濃度の値」とを比較評価した結果を図 13(4)-2 に示します。</p> <p>その結果、濃度比として、「算術平均」を適用した場合、算出式が示す推定放射能濃度分布への影響の特徴（図 13(4)-1 参照：スケーリングファクター法の例示ですが、濃度比法にも適用できます）で示しますように、放射能濃度分布を大きい方向にスライドさせた評価となり、設定した放射能量の 8.4 倍の放射能量の評価結果を示し、ばらつきを過度に加味した大きな保守性を含むこととなります。</p> <p>一方、「幾何平均」を適用した場合、濃度分布の平均濃度は変わりませんが、放射能濃度の高い領域を大き目に評価する特徴（図 13(4)-1 参照）から、実際の放射能量の 1.4 倍程度の放射能量評価結果となり、保守性を確保しつつ、より実態（難測定核種の放射能濃度分布と放射能量の真値）に近い評価結果を得ることができており、「幾何平均」を適用した方が、放射能量の総量の評価に関しては、実態をより適切に評価できていることが分かります。</p> <table border="1" data-bbox="1765 982 2855 1438"> <thead> <tr> <th>基本とした相関図</th> <th>算術平均濃度比による評価</th> <th>幾何平均濃度比による評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1765 1029 2131 1386">  </td> <td data-bbox="2131 1029 2496 1386">  </td> <td data-bbox="2496 1029 2855 1386">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1765 1386 2131 1438">相関係数 = 0.70</td> <td data-bbox="2131 1386 2496 1438">放射能量比 = 8.2</td> <td data-bbox="2496 1386 2855 1438">放射能量比 = 1.4</td> </tr> </tbody> </table> <p>注：放射能量比=スケーリングファクターを適用し算出した難測定核種の放射能量 (Estimated Activity) / 規格化データの難測定核種の真値 (Actual Activity)</p> <p>図 13(4)-2 スケーリングファクター算出方法の違いが放射能量評価結果に与える影響 (規格化したデータを使用した評価)</p> <p>(出典) H. Masui, M. Kashiwagi and H. Ozaki, Rationalization of radioactivity concentration determination method for Low-level radioactive waste generated at Japanese nuclear power plants, (International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management: ICEM' 01, Bruges, Belgium, 2001)</p> <p>IAEA Nuclear Energy Series, No. NW-T-1.18, Determination and Use of Scaling Factors for Waste Characterization in Nuclear Power Plants (2009)</p> <p>回答 13(4)に対する追加ご質問（検討チーム会合中のご質問） 濃度比法を使用した場合の不確かさとして、ばらつきはどこまで許容できるか。</p>	基本とした相関図	算術平均濃度比による評価	幾何平均濃度比による評価				相関係数 = 0.70	放射能量比 = 8.2	放射能量比 = 1.4
基本とした相関図	算術平均濃度比による評価	幾何平均濃度比による評価											
													
相関係数 = 0.70	放射能量比 = 8.2	放射能量比 = 1.4											

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容								
○「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												
				<p>回答 「ばらつき」は、最大放射能濃度の評価に対して必要になります考慮事項です。 この点に関して、回答 13(3)の図 13(3)-1 に示しています評価対象核種と Key 核種の濃度比ばらつきを最大値・最小値の範囲で示しますと、C1-36 で 14 倍、Nb-94 で 38 倍と平均の±1 桁以内（すなわち、100 倍以内）に入っており、かつ算術平均値に対する最大値のばらつき範囲は C1-36 で 2.5 倍、Nb-94 で 4.1 倍と算術平均値の+1 桁を超えるものではありません。¹⁾ このため、最大放射能濃度の評価に適します濃度比に対する「算術平均値」の適用に加え、スクリーニングレベル（例 1 桁）を適用することで、「ばらつき」を考慮した最大放射能濃度の確認が行えるものと考えます。 注 1) 計算例で最もばらつきが大きい Np-237 でも算術平均値に対する最大値のばらつき範囲は 4.9 倍であった。</p> <div data-bbox="1754 724 2813 804" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>回答 13(4)に対する追加ご質問（検討チーム会合中のご質問） 放射化計算の充足数として、40 点で良いのか。</p> </div> <p>回答 放射化計算数の充足度は、40 点といった規定値でなく、計算回数を増やしていった場合の計算結果が示す統計値の安定性（図 13(4)-2 のように、統計値安定後の濃度比はほとんど変化しない）で評価します。</p> <div data-bbox="1783 968 2843 1570"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%; padding: 5px;"> <p>相関係数の安定性 (C-14/Co-60) 相関係数 0.82 図 I.12 より抜粋</p> </td> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;"> <p>○：相関係数の平均値 △：相関係数の 95%信頼下限値の平均値</p> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> <p>濃度比の安定性 (C-14/Co-60) 濃度比 2.5×10^{-3} 図 I.13 より抜粋</p> </td> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;"> <p>○：濃度比の平均値 △：濃度比の 95%信頼上限値の平均値</p> </td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: center;">図 13(4)-2 放射化計算数の充足度の統計値による評価</p> <p>この判断方法は、第1回検討チーム回答での「資料 1-1 L1 放射能評価標準に規定されている評価方法の概要及び理論的方法の技術的ポイント」の 37 ページから 38 ページに示しておりますように、相関係数の統計値の安定性によって判断するものです。 これを踏まえ、標準では、附属書 I の図 I.12 に示しています「相関係数の安定性の評価（放射化計算結果の数（評価データ数）及び相関係数の統計値の推移による評価）」で評価していますが、前述の計算例に示しています C1-36、Nb-94 に関する Co-60 との相関係数の統計値の推移を図 13(4)-3 に示します。 この計算例の図のように、計算数が 30 点を越えた段階で統計値は安定していることから、これ以</p>	<p>相関係数の安定性 (C-14/Co-60) 相関係数 0.82 図 I.12 より抜粋</p>		<p>○：相関係数の平均値 △：相関係数の 95%信頼下限値の平均値</p>		<p>濃度比の安定性 (C-14/Co-60) 濃度比 2.5×10^{-3} 図 I.13 より抜粋</p>		<p>○：濃度比の平均値 △：濃度比の 95%信頼上限値の平均値</p>	
<p>相関係数の安定性 (C-14/Co-60) 相関係数 0.82 図 I.12 より抜粋</p>												
<p>○：相関係数の平均値 △：相関係数の 95%信頼下限値の平均値</p>												
<p>濃度比の安定性 (C-14/Co-60) 濃度比 2.5×10^{-3} 図 I.13 より抜粋</p>												
<p>○：濃度比の平均値 △：濃度比の 95%信頼上限値の平均値</p>												

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容
----	-------------	-----------------------	-------	--------

○「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

上計算回数を増やしても、計算結果に変化は見られないことを示しており、計算例では40点の計算による評価で確認できることを示しています。

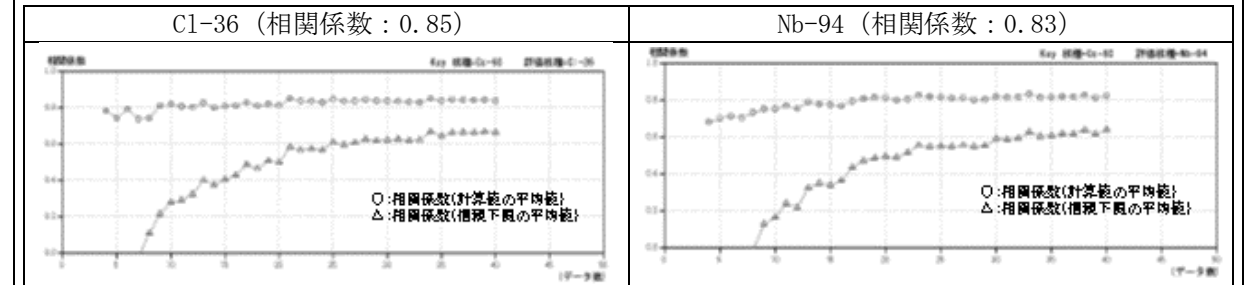


図 13(4)-3 濃度比法における Cl-36 と Nb-94 の計算回数の充足度の評価

出典 事業者から提供された推移図を示す。

標準に記載されている内容ではありませんが、必要計算数の考え方としては、次の考え方が適用できます。

必要計算数の考え方の例として、IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.18 に示されるスケールリングファクタの評価に必要な分析データの充足数に関する引用文献[1]があり、図 13(4)-4 の評価結果（相関係数 0.8 の場合の 100 点のデータまでの統計値の推移を評価した例）などを踏まえ、理論計算の計算数を増し続けても、計算結果の信頼性の指標となる統計値（相関係数などの 95% 信頼下限値）の向上率が、図 13(4)-4 のように徐々に低下し、計算数を向上したとしてもその効果が得られなくなっていきます。

このように計算数を増やした場合に得られる計算結果の信頼性の向上率が小さくなり、安定した段階が、計算数が充足したと判断できる数量と考えます。この計算数としての充足性を満たす数量（引用文献ではスケールリングファクタ法における必要データ数）に関して、0.6 以上の相関係数ごとに表 13(4)-2 に示されており、このデータ数の充足性を満たす数量の考え方が、同じ統計値（相関係数を踏まえた濃度比）を利用して評価する理論的方法にも適用することが可能です。

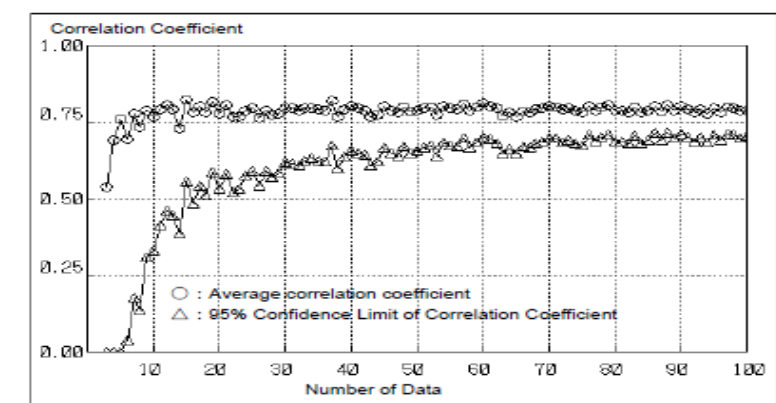


図 13(4)-4 The changes in correlation coefficient with the number of samples (相関係数 0.8 の例[1])

表 13(4)-2 Required number of data according to the correlation coefficient and based on a 95% confidence limit [1]

Correlation Coefficient

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容												
○「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																
				<table border="1"> <tr> <td></td> <td>0.6</td> <td>0.7</td> <td>0.8</td> <td>0.9</td> <td>0.95</td> </tr> <tr> <td>Required number of data</td> <td>40</td> <td>35</td> <td>30</td> <td>25</td> <td>20</td> </tr> </table> <p>出典1 KASHIWAGI M., MÜLLER W., LANTÈS B., “Considerations on the activity concentration determination method for low-level waste packages and nuclide data comparison between different countries”, Safety of Radioactive Waste Management (Proc. Int. Conf. Cordoba, 2000), IAEA, Vienna (2000) 175-179.</p>		0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	Required number of data	40	35	30	25	20
	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95											
Required number of data	40	35	30	25	20											
		<p>(再掲) 幾何平均値による濃度比の適用条件を明確にして欲しい（例えば、濃度比算出に用いたサンプル値全体の放射エネルギー（あるいは放射能濃度）に限る。）。</p> <p>面談時の補足：幾何平均濃度比を適用した埋設施設での廃棄体の管理に関する条件の問い</p>	回答可能	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p><u>(判断した濃度範囲の廃棄物全体が同一の処分場あるいは処分場の同じ区画に埋設されることを担保する方法など)</u></p> <p>埋設段階の廃棄体の管理、運用に関しましては、申請を行う各事業者が計画し、管理を行うこととなります。</p> <p>その管理に関しては、埋設する各廃棄体は整理番号によって管理され、さらに、各廃棄体に収納した放射化金属等の種類、廃棄物量、放射能濃度も廃棄体の整理番号によって管理されますので、評価対象とした廃棄体に関する埋設管理が可能となります。</p> <p>したがって、「濃度比法」を適用した廃棄体に関しては、放射能評価方法を適用するためにも、廃棄体と情報との1対1の連関管理（整理番号と記録との管理）を行うことで、廃棄体の埋設管理及び実際の廃棄確認によって、担保されることとなります。</p> <p>また、廃棄体の埋設総放射エネルギー及び埋設区画ごとの放射エネルギーも、この管理によって把握され、必要な制限値（区間ごとの総放射エネルギーには許容範囲が設定される）を満足していることを確認することとなります。</p> <p>この際に、現行埋設施設で言う埋設設備1基ごと、又は埋設設備の群単位内に、同一の幾何平均濃度比を適用して平均放射能濃度を評価した同一廃棄物グループが埋設されることを確認することとなります。</p>												

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
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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
(一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																		
○その他																						
1. 「6.4 数値の丸め方」において、数値の丸め方は JIS Z 8401:1999 に従うと規定していますが、JIS は種々の丸め方を規定しているので、本標準で採用する丸め方を具体的に説明してください。	JIS Z 8401:1999 は数値の丸め方の方法を規定しており、これに従うということは規則 A, B の方法のいずれでもよいこととなり、具体的にないため質問したものです。	入力データ、途中段階、最終結果に分けて丸め方の方法を示してください（データ授受の有効桁数等）。（回答において、有効数字を小数点以下1桁とした指数表示が示されているが、これだと2桁が有効となる。有効数字1桁の数値表示の誤りではないか。）	回答可能	<p>ご指摘の点が明確になるように第3回会合での回答を以下のように加筆修正しました。</p> <p>「放射能濃度」及び「濃度比などの係数」は、これまでの廃棄物確認申請などを踏まえると、有効数字として2桁としているため、標準6.4に示している丸め方に従いますと、次のような具体例（JIS Z 8401:2019 の「2. 数値の丸め方」に例示されている丸めの幅：0.1の適用、JIS の例：12.223→12.3）となります。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>放射能濃度</th> <th>濃度比などの係数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>申請値の例</td> <td>1.0×10¹⁰ Bq/t</td> <td>1.0×10¹⁰</td> </tr> <tr> <td>丸め方</td> <td>小数点2桁目を切り上げ</td> <td>小数点2桁目を切り上げ</td> </tr> </tbody> </table> <p>なお、放射性廃棄物に関する過去の申請などに使用されています数値の表示例（丸め方の参考）を下表に示します。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>申請書など</th> <th>項目</th> <th>値の表記</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>廃棄物埋設事業変更許可申請書</td> <td>最大放射能濃度</td> <td>1.0×10¹⁰ Bq/t</td> </tr> <tr> <td>廃棄物確認に関する運用要領</td> <td>スケールリングファクタ</td> <td>1.0×10⁻¹⁰</td> </tr> </tbody> </table> <p>また、この数字の丸め方は、最終段階での放射能濃度、評価係数の決定時に適用するもので、評価途中の計算結果、設定値などに関しては、適用せずに使用しております。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>6.4 数値の丸め方 計算結果の整理、数値の丸め方は、JIS Z 8401:1999 に従う。ただし、放射能濃度評価結果の有効数字を丸めるときは、大きめにとってもよい。</p> </div>		放射能濃度	濃度比などの係数	申請値の例	1.0×10 ¹⁰ Bq/t	1.0×10 ¹⁰	丸め方	小数点2桁目を切り上げ	小数点2桁目を切り上げ	申請書など	項目	値の表記	廃棄物埋設事業変更許可申請書	最大放射能濃度	1.0×10 ¹⁰ Bq/t	廃棄物確認に関する運用要領	スケールリングファクタ	1.0×10 ⁻¹⁰
	放射能濃度	濃度比などの係数																				
申請値の例	1.0×10 ¹⁰ Bq/t	1.0×10 ¹⁰																				
丸め方	小数点2桁目を切り上げ	小数点2桁目を切り上げ																				
申請書など	項目	値の表記																				
廃棄物埋設事業変更許可申請書	最大放射能濃度	1.0×10 ¹⁰ Bq/t																				
廃棄物確認に関する運用要領	スケールリングファクタ	1.0×10 ⁻¹⁰																				
	また、標準の一部に、JIS Z 8401:1999 に示された規則 A、規則 B の両方法に当てはまらない数値の丸め方が含まれており、その適用の妥当性が確認できなかったため質問したものです。（該当箇所：標準 p89 表 G.6 「起源元素の推定存在濃度レベル例（オーダー）」）	標準 p89 表 G.6 「起源元素の推定濃度レベル例（オーダー）」の推定存在濃度レベルの丸め方は、JIS Z 8401:1999 に示されたどの数値の丸め方とも方法が異なります。分析データや文献値よりも低い値が推定存在濃度レベルになっているものもあります。 ①推定濃度レベルの数値の丸め方の考え方を、具体例を交えて示してください。また、その丸め方を採用して良い根拠（過去の許認可での実績や、海外事例など）を示してください。 ②この数値の丸め方が、後のスクリーニング手順に影響を与える可能性があります。この方法を採用して良い理由を示してください。（表 G.6 に示された SUS304 中の Mn については、JIS Z 8401:1999 の B の方法で数値を丸めると、第四次スクリーニングにおいてスクリーニングされずに評価対象元素に残ります。）	回答可能	<p>（前回答から続く）</p> <p>なお、表 G.6 に示しております推定存在濃度レベルに関しましては、主成分以外の元素は、ここではオーダーとして1及び5に区分して元素濃度を設定したものです。 この数字の丸め方の考え方は、JIS Z 8401 の規則 B 中でも、「丸めの幅を 5×10^k（k は整数）とした三捨三入・七捨八入も特定の分野で用いられている」との例示があります。（ただし、標準では指数表示のため0ではなく1としています） 注記 ニューージーランドでは現金での支払いの際、スウェディッシュ・ラウンディングと呼ばれる方法で端数処理が行われている。「スウェディッシュ・ラウンディング」とは、十進法で二捨三入や七捨八入と呼ばれる方法である。</p> <p>また、具体的な「二捨三入・七捨八入」は、分析データ及び文献データにおいて、まず、平均濃度が得られている値に対して行い、次に検出下限値だけの場合は、その検出下限値に対して行っているものです。 なお、表 G.6 に示しています「成分管理目標値」は、参考までに示しているもので、「二捨三入・七捨八入」の対象ではありません。</p>																		

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
 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（規制庁追加コメントに対する補足回答）

2022年6月3日
 (一社)日本原子力学会 標準委員会

質問	質問の背景（問題意識）	説明が足りない点・説明して欲しい具体的内容	回答の可否	補足回答内容																																																																																																																																																														
				<p style="text-align: center;">表 G.6—起源元素の推定存在濃度レベル例（オーダー）</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="7" style="text-align: center;"><ZrTN804D></th> </tr> <tr> <th rowspan="2">元素</th> <th colspan="2">分析データ^{a)}</th> <th colspan="2">文献データ^{b)}</th> <th rowspan="2">成分管理目標値 (質量分率%) (JIS H 4751^{B)})</th> <th rowspan="2">推定存在濃度 レベル (質量分率%)</th> </tr> <tr> <th>データ数</th> <th>平均値 (質量分率%)</th> <th>データ数</th> <th>平均値 (質量分率%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>C</td><td>16 (0)</td><td>1.6 ×10⁻²</td><td>4 (2)</td><td>1.0 ×10⁻²</td><td>≦ 0.027</td><td>1.0 ×10⁻²</td></tr> <tr><td>N</td><td>21 (0)</td><td>3.2 ×10⁻³</td><td>10 (1)</td><td>3.2 ×10⁻³</td><td>≦ 0.008</td><td>5.0 ×10⁻³</td></tr> <tr><td>O</td><td>5 (0)</td><td>1.3 ×10⁻¹</td><td>5 (0)</td><td>1.1 ×10⁻¹</td><td>—</td><td>1.0 ×10⁻¹</td></tr> <tr><td>Na</td><td>0 (0)</td><td>—</td><td>0 (0)</td><td>—</td><td>—</td><td>1.0 ×10⁰</td></tr> <tr><td>S</td><td>0 (0)</td><td>—</td><td>1 (0)</td><td>3.5 ×10⁻³</td><td>—</td><td>5.0 ×10⁻³</td></tr> <tr><td>Cl</td><td>0 (21)</td><td>(5.0 ×10⁻⁴)</td><td>0 (0)</td><td>—</td><td>—</td><td>5.0 ×10⁻⁴</td></tr> <tr><td>K</td><td>0 (4)</td><td>(1.0 ×10⁻⁴)</td><td>0 (0)</td><td>—</td><td>—</td><td>1.0 ×10⁻⁴</td></tr> <tr><td>V</td><td>0 (0)</td><td>—</td><td>2 (0)</td><td>2.4 ×10⁻³</td><td>—</td><td>1.0 ×10⁻³</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0 (0)</td><td>—</td><td>18 (0)</td><td>1.1 ×10⁻¹</td><td>0.07 ~ 0.13</td><td>1.0 ×10⁻¹</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>0 (0)</td><td>—</td><td>5 (1)</td><td>1.0 ×10⁻³</td><td>≦ 0.005</td><td>1.0 ×10⁻³</td></tr> <tr><td>Fe</td><td>5 (0)</td><td>2.1 ×10⁻¹</td><td>18 (0)</td><td>2.1 ×10⁻¹</td><td>0.18 ~ 0.24</td><td>1.0 ×10⁻¹</td></tr> <tr><td>Co</td><td>0 (21)</td><td>(7.6 ×10⁻⁴)</td><td>5 (0)</td><td>4.7 ×10⁻⁴</td><td>≦ 0.002</td><td>5.0 ×10⁻⁴</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>11 (10)</td><td>4.2 ×10⁻³</td><td>3 (1)</td><td>3.5 ×10⁻³</td><td>≦ 0.007</td><td>5.0 ×10⁻³</td></tr> <tr><td>Cu</td><td>0 (0)</td><td>—</td><td>3 (0)</td><td>1.7 ×10⁻³</td><td>≦ 0.005</td><td>1.0 ×10⁻³</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>0 (0)</td><td>—</td><td>0 (0)</td><td>—</td><td>—</td><td>1.0 ×10⁻²</td></tr> <tr><td>Zr</td><td>16 (0)</td><td>9.8 ×10¹</td><td>1 (0)</td><td>9.8 ×10¹</td><td>残部</td><td>9.8 ×10¹</td></tr> <tr><td>Nb</td><td>0 (21)</td><td>(3.9 ×10⁻³)</td><td>1 (0)</td><td>1.2 ×10⁻²</td><td>≦ 0.010</td><td>5.0 ×10⁻³</td></tr> <tr><td>Mo</td><td>0 (21)</td><td>7.6 ×10⁻⁴</td><td>1 (1)</td><td>2.0 ×10⁻³</td><td>≦ 0.005</td><td>1.0 ×10⁻³</td></tr> <tr><td>Th</td><td>0 (16)</td><td>(1.0 ×10⁻⁵)</td><td>0 (0)</td><td>—</td><td>—</td><td>1.0 ×10⁻⁵</td></tr> <tr><td>U</td><td>1 (20)</td><td>(8.1 ×10⁻⁵)</td><td>2 (0)</td><td>3.5 ×10⁻⁵</td><td>≦ 3.5E-04</td><td>5.0 ×10⁻⁵</td></tr> </tbody> </table> <p>補足：数字の丸め方</p> <p>①推定濃度レベルの設定においては、1桁レベルに区切るのは、設定間隔が大きいため、「二捨三入・七捨八入」として、各桁（1～10）の中央でも区切る方法を適用し、1×10X、5×10Xの間隔で設定したものです。</p> <p>なお、標準に示しています数字の丸め方は、</p> <p>②JIS Z 8401のBの方法は、放射化計算によって得られた最終評価値（放射能濃度、濃度比など）の数字の丸め方に関して、JIS Z 8401に準拠して数字を丸める方法を示したもので、評価の途中の段階（スクリーニング段階の設定値など）の数値の設定方法を規定しているものではありません。</p>	<ZrTN804D>							元素	分析データ ^{a)}		文献データ ^{b)}		成分管理目標値 (質量分率%) (JIS H 4751 ^{B)})	推定存在濃度 レベル (質量分率%)	データ数	平均値 (質量分率%)	データ数	平均値 (質量分率%)	C	16 (0)	1.6 ×10 ⁻²	4 (2)	1.0 ×10 ⁻²	≦ 0.027	1.0 ×10 ⁻²	N	21 (0)	3.2 ×10 ⁻³	10 (1)	3.2 ×10 ⁻³	≦ 0.008	5.0 ×10 ⁻³	O	5 (0)	1.3 ×10 ⁻¹	5 (0)	1.1 ×10 ⁻¹	—	1.0 ×10 ⁻¹	Na	0 (0)	—	0 (0)	—	—	1.0 ×10 ⁰	S	0 (0)	—	1 (0)	3.5 ×10 ⁻³	—	5.0 ×10 ⁻³	Cl	0 (21)	(5.0 ×10 ⁻⁴)	0 (0)	—	—	5.0 ×10 ⁻⁴	K	0 (4)	(1.0 ×10 ⁻⁴)	0 (0)	—	—	1.0 ×10 ⁻⁴	V	0 (0)	—	2 (0)	2.4 ×10 ⁻³	—	1.0 ×10 ⁻³	Cr	0 (0)	—	18 (0)	1.1 ×10 ⁻¹	0.07 ~ 0.13	1.0 ×10 ⁻¹	Mn	0 (0)	—	5 (1)	1.0 ×10 ⁻³	≦ 0.005	1.0 ×10 ⁻³	Fe	5 (0)	2.1 ×10 ⁻¹	18 (0)	2.1 ×10 ⁻¹	0.18 ~ 0.24	1.0 ×10 ⁻¹	Co	0 (21)	(7.6 ×10 ⁻⁴)	5 (0)	4.7 ×10 ⁻⁴	≦ 0.002	5.0 ×10 ⁻⁴	Ni	11 (10)	4.2 ×10 ⁻³	3 (1)	3.5 ×10 ⁻³	≦ 0.007	5.0 ×10 ⁻³	Cu	0 (0)	—	3 (0)	1.7 ×10 ⁻³	≦ 0.005	1.0 ×10 ⁻³	Zn	0 (0)	—	0 (0)	—	—	1.0 ×10 ⁻²	Zr	16 (0)	9.8 ×10 ¹	1 (0)	9.8 ×10 ¹	残部	9.8 ×10 ¹	Nb	0 (21)	(3.9 ×10 ⁻³)	1 (0)	1.2 ×10 ⁻²	≦ 0.010	5.0 ×10 ⁻³	Mo	0 (21)	7.6 ×10 ⁻⁴	1 (1)	2.0 ×10 ⁻³	≦ 0.005	1.0 ×10 ⁻³	Th	0 (16)	(1.0 ×10 ⁻⁵)	0 (0)	—	—	1.0 ×10 ⁻⁵	U	1 (20)	(8.1 ×10 ⁻⁵)	2 (0)	3.5 ×10 ⁻⁵	≦ 3.5E-04	5.0 ×10 ⁻⁵
<ZrTN804D>																																																																																																																																																																		
元素	分析データ ^{a)}		文献データ ^{b)}		成分管理目標値 (質量分率%) (JIS H 4751 ^{B)})	推定存在濃度 レベル (質量分率%)																																																																																																																																																												
	データ数	平均値 (質量分率%)	データ数	平均値 (質量分率%)																																																																																																																																																														
C	16 (0)	1.6 ×10 ⁻²	4 (2)	1.0 ×10 ⁻²	≦ 0.027	1.0 ×10 ⁻²																																																																																																																																																												
N	21 (0)	3.2 ×10 ⁻³	10 (1)	3.2 ×10 ⁻³	≦ 0.008	5.0 ×10 ⁻³																																																																																																																																																												
O	5 (0)	1.3 ×10 ⁻¹	5 (0)	1.1 ×10 ⁻¹	—	1.0 ×10 ⁻¹																																																																																																																																																												
Na	0 (0)	—	0 (0)	—	—	1.0 ×10 ⁰																																																																																																																																																												
S	0 (0)	—	1 (0)	3.5 ×10 ⁻³	—	5.0 ×10 ⁻³																																																																																																																																																												
Cl	0 (21)	(5.0 ×10 ⁻⁴)	0 (0)	—	—	5.0 ×10 ⁻⁴																																																																																																																																																												
K	0 (4)	(1.0 ×10 ⁻⁴)	0 (0)	—	—	1.0 ×10 ⁻⁴																																																																																																																																																												
V	0 (0)	—	2 (0)	2.4 ×10 ⁻³	—	1.0 ×10 ⁻³																																																																																																																																																												
Cr	0 (0)	—	18 (0)	1.1 ×10 ⁻¹	0.07 ~ 0.13	1.0 ×10 ⁻¹																																																																																																																																																												
Mn	0 (0)	—	5 (1)	1.0 ×10 ⁻³	≦ 0.005	1.0 ×10 ⁻³																																																																																																																																																												
Fe	5 (0)	2.1 ×10 ⁻¹	18 (0)	2.1 ×10 ⁻¹	0.18 ~ 0.24	1.0 ×10 ⁻¹																																																																																																																																																												
Co	0 (21)	(7.6 ×10 ⁻⁴)	5 (0)	4.7 ×10 ⁻⁴	≦ 0.002	5.0 ×10 ⁻⁴																																																																																																																																																												
Ni	11 (10)	4.2 ×10 ⁻³	3 (1)	3.5 ×10 ⁻³	≦ 0.007	5.0 ×10 ⁻³																																																																																																																																																												
Cu	0 (0)	—	3 (0)	1.7 ×10 ⁻³	≦ 0.005	1.0 ×10 ⁻³																																																																																																																																																												
Zn	0 (0)	—	0 (0)	—	—	1.0 ×10 ⁻²																																																																																																																																																												
Zr	16 (0)	9.8 ×10 ¹	1 (0)	9.8 ×10 ¹	残部	9.8 ×10 ¹																																																																																																																																																												
Nb	0 (21)	(3.9 ×10 ⁻³)	1 (0)	1.2 ×10 ⁻²	≦ 0.010	5.0 ×10 ⁻³																																																																																																																																																												
Mo	0 (21)	7.6 ×10 ⁻⁴	1 (1)	2.0 ×10 ⁻³	≦ 0.005	1.0 ×10 ⁻³																																																																																																																																																												
Th	0 (16)	(1.0 ×10 ⁻⁵)	0 (0)	—	—	1.0 ×10 ⁻⁵																																																																																																																																																												
U	1 (20)	(8.1 ×10 ⁻⁵)	2 (0)	3.5 ×10 ⁻⁵	≦ 3.5E-04	5.0 ×10 ⁻⁵																																																																																																																																																												

規定	説明して欲しい内容	点推定法	区間推定法	
			濃度比法	濃度分布評価法
6.1.2.2 元素成分条件 6.1.2.2.1 起源元素の選定方法	<p>① どのように起源元素を選定したか</p> <p>② その結果、どの起源元素を選定したか</p> <p>③ スクリーニングをした場合、その理由とスクリーニングの内容</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>6.1.2.2.1 起源元素の選定方法</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> — 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。 <p>なお、起源元素は、次のステップ(全て又はいずれか)によって、対象からスクリーニングすることができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> — 原子炉内で放射化によって生成する放射性同位体は、起源元素から除外できる。ただし、天然に広く存在する放射性同位体は除外しない。例 Pu などのように材料の放射化によって生成する放射性同位体。 — 評価対象核種を生成しない元素は、起源元素から除外できる。 — 材料の精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素は、起源元素から除外できる。ただし、対象物の範囲及び評価によっては、完全に除去されず、放射化計算に考慮した方がよい元素もある。 — 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。 </div>	<p>①選定方法:右記(濃度比法)と同じ。</p> <p>なお、附属書Fの例(放射化計算と放射化学分析結果の比較)では、CBに関して、Co-60に関する計算と分析との比較検討を行うため、Co-60の起源元素Coのみとしています。</p> <p>②起源元素の選定結果:右記(濃度比法)と同じ。</p>	<p>①選定方法:附属書GではCBを評価対象物としており、G.1.1に示しております起源元素の選定の例示のように103元素からG.1.1.3に示しています4段階のスクリーニング①(添付1参照)を実施して、仮に、現行L2埋設などの申請核種(¹⁴C, ³⁶Cl, ⁶⁰Co, ⁶³Ni, ⁹⁰Sr, ⁹⁴Nb, ⁹⁹Tc, ¹²⁹I, ¹³⁷Cs, 全α)を踏まえて設定した例を示しています。</p> <p>注1 ③スクリーニングの理由と内容 必要な放射計算に絞り込むために実施 一次:U, Th以外の放射性同位体を除いた元素に絞る。 (除外元素:Tc, Pm, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac, Pa, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr:21元素) 二次:評価対象核種を生成する元素に絞る。 (表G.3参照)(評価対象核種を生成しない元素は、起源元素から除外) (除外元素:H, He, Li, Be, B, Mg, Al, Si, P, Ca, Sc, Ti, Ga, Ge, As, Se, Br, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb:47元素) 三次:附属書Hの図H.19に示す製造工程(熱処理:溶解等、化学処理:還元等)を踏まえ鋼材中に残存する元素に絞る。(精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素は、起源元素から除外) (表G.5参照、詳細な理由及び根拠は第3回の回答4参照) (除外元素:F, Ne, Ar, Kr, Rb, Sr, Y, Ru, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La:15元素) 四次:放射能生成比0.01%以上の元素に絞る。 (表G.6, 7参照) (除外元素:C, Na, V, Cr, Mn, Zn:6元素)</p> <p>②起源元素の選定結果:評価対象核種を生成する「N, O, S, Cl, K, Fe, Co, Ni, Cu, Zr, Nb, Mo, Th, U(14元素)」を起源元素として選定しています。</p>	<p>左記(濃度比法)と同じ</p> <p>①選定方法:附属書Kでは、黒鉛減速材を評価対象物としていますので、左記と同じ方法によって、同じ評価対象核種である「¹⁴C, ³⁶Cl, ⁶⁰Co, ⁶³Ni, ⁹⁰Sr, ⁹⁴Nb, ⁹⁹Tc, ¹²⁹I, ¹³⁷Cs, 全α)を踏まえて設定した例を示しています。</p> <p>なお、CBを評価対象とする場合は、濃度比法と同じ選定方法となります。</p> <p>以下は、黒鉛減速材の例を示します。 一次:濃度比法と同じ(母材によらないため) 二次:濃度比法と同じ(母材によらないため)(評価対象核種を生成しない元素は、起源元素から除外) 三次:附属書Kの材料の仕様、製造時の揮発等を踏まえ黒鉛減速材中に残存する元素に絞る。(精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素は、起源元素から除外) (表K.3参照) (除外元素:F, Ne, Ar, Kr, Rb, Sr, Y, Ru, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba:14元素) 四次:放射能生成比0.01%以上の元素に絞る。 (表K.5参照) (除外元素:Na, V, Cr, Mn, La:5元素)</p> <p>②起源元素の選定結果:評価対象核種を生成する「N, O, S, Cl, K, Fe, Co, Ni, Cu, Zr, Nb, Mo, Th, U(14元素)」を起源元素として選定しています。</p>

規定	説明して欲しい内容	点推定法	区間推定法		
			濃度比法	換算係数法 濃度分布評価法	
6.1.2.2.2 起源元素の元素成分データの収集方法	<p>① 3つの方法のうちどの方法で収集したか</p> <p>② その方法を選んだ理由</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> —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別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。 </div>	<p>①収集方法：右記（濃度比法）と同じ。なお、附属書 F の例では、分析値と計算値の比較検証を行っているため、化学分析による方法です。</p> <p>②選択理由：右記（濃度比法）と同じ。なお、附属書 F の例では、Co-60 に関する計算と分析との比較検証用ですので、化学分析による収集です。</p>	<p>①収集方法：元素データの収集段階においては、3種類の収集方法（化学分析、文献・材料証明書収集、材料規格のデータ）を全て適用しており、その適用方法は、附属書 I の表 I.3 に示しています。</p> <p>②選択理由：元素データの収集段階においては、その使用の有無にかかわらず、幅広く元素分析データを収集するために、全ての手法を適用するものです。</p> <p>なお、この収集した分析データの中から入力用の元素データを設定するために、次のステップでデータを選択します。</p> <p>⑤分析データが得られている場合：分析データを選択する。</p> <p>⑥分析データが得られなかった場合：文献データを選択する。</p> <p>⑦主成分元素の場合：分析データに替えて、材料規格値（保守的な評価とするため）を適用してもよいと考えます。</p> <p>なお、上記を踏まえ、CB の例として入力用の元素分布の設定データとして選択した結果を表 I.9 に示しています。</p>	<p>①収集方法：左記（濃度比法）と同じです。</p> <p>②選択理由：左記（濃度比法）と同じです。</p>	<p>①収集方法：黒鉛減速材の元素データの収集段階においては、化学分析による収集を全ての元素に適用しています。</p> <p>なお、CB を評価対象とする場合は、濃度比法と同じ収集方法となります。</p> <p>②選択理由：黒鉛減速材の元素データの収集段階においては、起源元素に関する文献データなどはほとんどないため、黒鉛減速材中の元素を分析する手法を適用するものです。</p> <p>なお、CB を評価対象とする場合は、濃度比法と同じ選択理由となります。</p>
6.1.2.2.3 起源元素の成分条件の設定方法	<p>① 3つの方法のうちどの方法で設定したか</p> <p>② その方法を選んだ理由</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>6.1.2.2.3 起源元素の成分条件の設定方法 起源元素の元素成分条件は、次のいずれかの方法で設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> —代表値を設定する方法 収集した起源元素の元素成分データによって、濃度の代表値を設定する。 —濃度分布から設定する方法 収集した起源元素の元素成分データの濃度分布を踏まえ、複数の代表的濃度（例 平均濃度、信頼上限値など）を設定する。 —濃度範囲を設定する方法 収集した起源元素の元素成分データの濃度範囲を踏まえ、最大濃度、最小濃度を設定する。 <p>注記 検出が困難な元素に関する濃度分布の評価方法は、附属書 H を参照。</p> </div>	<p>①設定方法：右記（濃度比法）と同じ。なお、附属書 F の例では、評価対象とした CB の化学分析による代表値で設定する方法を適用しています。</p> <p>②方法の選択理由：設定した濃度分布から、保守的となる最大値、又は信頼上限値を適用します</p> <p>なお、附属書 F の例では、Co-60 に関する計算と分析との比較検証用ですので、評価対象とした CB の採取試料の代表値となる分析結果で設定しました。</p>	<p>①設定方法：適用しました分析データは、表 I.9 に示します元素データを使用して、「濃度分布から設定する方法」を適用しています。</p> <p>なお、主成分である Fe 及び Zr は、CB の例では「濃度範囲を設定する方法」を適用しています。</p> <p>②方法の選択理由：評価対象物の元素濃度範囲を網羅した評価をランダムサンプリングで行うために、上記で選択した分析データ（平均値及び標準偏差）を踏まえて入力用濃度分布を設定します。</p> <p>このため、基本は「濃度分布から設定する方法」ですが、保守的に設定できる「濃度範囲を設定する方法」（材料規格の元素成分の許容範囲で設定）として、主成分元素には、「一様分布」を適用してもよいと考えます。</p>	<p>①設定方法：左記（濃度比法）と同じ「濃度分布から設定する方法」です。</p> <p>②方法の選択理由：左記（濃度比法）と同じです。その設定した濃度分布から、評価対象物の元素濃度範囲を網羅した評価をランダムサンプリングで行うために、上記で選択した化学分析データ（平均値及び標準偏差）を踏まえて入力用濃度分布を設定します。</p>	<p>①設定方法：適用しました分析データは、黒鉛減速材の例では表 K.7 に示します元素データを使用して、「濃度分布から設定する方法」を適用しています。</p> <p>なお、主成分である C は、「濃度範囲を設定する方法」を適用しています。</p> <p>なお、CB を評価対象とする場合は、濃度比法と同じ設定方法となります。</p> <p>②方法の選択理由：評価対象物の元素濃度範囲を網羅した評価をランダムサンプリングで行うために、上記で選択した分析データ（平均値及び標準偏差）を踏まえて入力用濃度分布を設定します。</p> <p>ただし、主成分である C に関しては、保守的に設定できる「一様分布」（残部として）で設定します。</p> <p>なお、CB を評価対象とする場合は、濃度比法と同じ設定方法となります。</p>

規定	説明して欲しい内容	点推定法	区間推定法		
			濃度比法	換算係数法	濃度分布評価法
6.1.2.3 中性子条件 a) 中性子フルエンス率・中性子スペクトル	<p>① 使用した中性子輸送コードの種類</p> <p>② そのコードを選んだ理由</p> <p>③ 中性子フルエンス率、中性子スペクトルの設定に至るまでの考え方、設定の判断方法、根拠</p>	<p>①中性子輸送コード：MCNP</p> <p>②選定理由：添付 2 及び採取した試料位置の中性子条件を正確に評価するために、燃料集合体内を詳細にモデル化した中性子フルエンス率・中性子スペクトル計算できる MCNP を適用した。</p> <p>③設定方法：附属書 F の F.1.3b)の燃料棒の出力及びボイド率を用い、燃料集合体内を詳細にモデル化した中性子フルエンス率分布計算を、MCNP によってサイクルごとの保守的代表点(代表サイクル)で実施した。これから対象チャンネルボックスの最大となる評価位置を選択し、中性子フルエンス率・中性子スペクトルを設定します。</p>	<p>①中性子輸送コード：単位燃料集合体核特性計算コード</p> <p>②選定理由：添付 3 及び軸方向出力分布、ボイド率分布を考慮して軸方向の中性子条件を設定するために、単位燃料集合体核特性計算コードによる中性子フルエンス率・中性子スペクトル算出結果を使用した。</p> <p>③設定方法：附属書 G の G.2.2 に示します。</p> <p>④中性子フルエンス率・中性子スペクトルの炉内分布の評価計算</p> <p>1)代表燃料断面について、燃焼度及び出力密度の条件を、それぞれサイクル中期の炉心平均燃焼度、及び定格出力密度として、チャンネルボックス設置位置の中性子フルエンス率・中性子スペクトルを算出します。</p> <p>2)代表炉心の 3 次元核熱水力解析によって、炉内径方向位置に応じた軸方向出力分布、ボイド率分布を算出します。</p> <p>3)2)で求めた軸方向出力分布、ボイド率分布を利用し、1)の値をボイド率で内挿、出力密度補正を行い、炉心中央部及び最外周部におけるチャンネルボックス評価位置の中性子フルエンス率・中性子スペクトルを計算して設定します。</p> <p>また、附属書 I の I.2.2.2.1a)に示すように、中性子スペクトルが大きく変化する制御棒挿入位置、炉心外についても中性子フルエンス率・中性子スペクトルを計算して設定します。</p> <p>⑤中性子フルエンス率・中性子スペクトルの選定</p> <p>1)6.1.2.4 照射条件の手順によって選択した「照射時間」を踏まえ、CB の炉内のローテーションパターン(表)をランダムサンプリングによって選択し、軸方向、径方向の評価位置をランダムサンプリングによって決定します。(必要回数実施)</p> <p>2)④の炉内分布の評価計算で評価した中性子フルエンス率・中性子スペクトルの分布より、1)で選択した評価位置のローテーションごとの中性子フルエンス率・中性子スペクトルを選択・決定します。(必要回数実施)</p>	<p>①中性子輸送コード：単位燃料集合体核特性計算コード及び 3 次元炉心核熱水力コード</p> <p>②選定理由：3 次元核熱水力コードで求めた軸方向出力分布、ボイド率分布を考慮して軸方向の中性子条件を設定するために、単位燃料集合体核特性計算コードによる中性子フルエンス率・中性子スペクトル算出結果を使用します。</p> <p>③設定方法：附属書 J の J.2.2.2 の a)に示します。</p> <p>④中性子フルエンス率・中性子スペクトルの炉内分布の評価計算</p> <p>1)各燃焼度までの代表炉心におけるサイクル及び軸方向出力及びボイド率分布を算出します。</p> <p>2)上記の出力及びボイド率分布を用いてチャンネルボックスの軸方向位置(炉心下部から 24 に分割)ごとに単位燃料集合体核特性計算コードによってチャンネルボックス評価位置の中性子フルエンス率・中性子スペクトルを設定します。</p> <p>⑤中性子フルエンス率・中性子スペクトルの選定</p> <p>1)軸方向に出力・ボイド率が大きく変化する、中性子フルエンス率・中性子スペクトルを軸方向に考慮する必要がある。また、CB は、運転サイクルごとに、炉心内でローテーションによる配置位置の移動がある。ここでは CB の炉心内での移動に対し、中性子フルエンス率・中性子スペクトル分布を設定するため、代表炉心におけるサイクル及び燃焼度に応じた軸方向出力及びボイド率分布を用いて算出します。</p>	<p>①中性子輸送コード：二次元輸送計算コード DOT3.5。</p> <p>②選定理由：添付 4 及び黒鉛減速材が装荷されている炉内の二次元中性子フルエンス率を計算できる DOT3.5 を用いた。</p> <p>なお、CB を評価対象とする場合は、濃度比法と同じ中性子輸送コード、設定理由となります。</p> <p>③設定方法：</p> <p>④中性子フルエンス率・中性子スペクトルの炉内分布の評価計算</p> <p>黒鉛減速材の中性子条件の炉内分布の評価は、附属書 F に示しておりますように、二次元輸送計算コード DOT3.5 により求めます。(具体例は図 F.11 及び図 F.12 参照)</p> <p>⑤中性子フルエンス率・中性子スペクトルの選定</p> <p>黒鉛減速材の炉内での評価対象位置をランダムサンプリングによって選択し、④で実施した炉内分布の評価計算で評価した中性子フルエンス率などの分布より、選択した評価位置ごと中性子フルエンス率などを選択・決定します。(必要回数実施)</p> <p>なお、附属書 K に示した黒鉛減速材の評価例では、保守的に黒鉛減速材の設置範囲の最大値 $5 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ に設定しています。</p> <p>なお、CB を評価対象とする場合は、濃度比法と同じ中性子輸送コード、設定理由となります。</p>

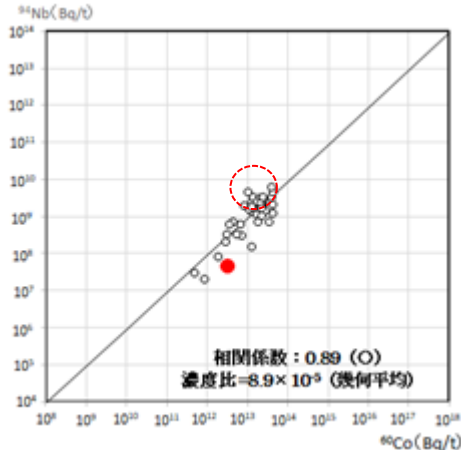
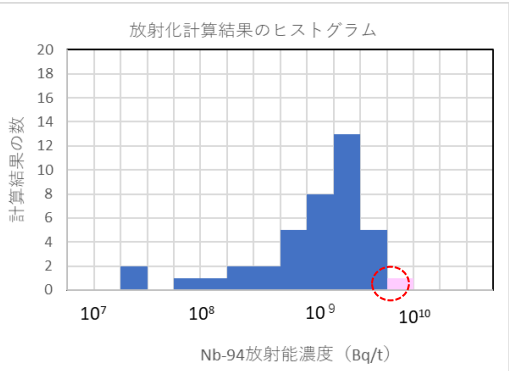
6.1.2.3 中性子条件
評価対象とする放射化金属等に対する次の中性子フルエンス率・中性子スペクトル、及び放射化断面積を設定する。
注記 詳細は、附属書 F 及び附属書 G 参照。
a) 中性子フルエンス率・中性子スペクトル 中性子フルエンス率・中性子スペクトルは、原子炉及び燃料の配置を考慮した中性子輸送計算コードなどによって適切に評価して設定する。中性子輸送計算コードは、詳細モデルの要求レベル及び精度の要求レベルと合わせて適用することが適切である。
例 中性子輸送計算のモンテカルロ法などは、原子炉の中性子の詳細条件及び評価対象範囲に設置されている構造物などの条件への適合が要求される場合にも、構造物などの条件に合わせる事が可能である。

規定	説明して欲しい内容	点推定法	区間推定法		
			濃度比法	換算係数法	濃度分布評価法
b) 放射化断面積	<p>① 2つの方法のうちいずれの方法で放射化断面積を作成したのか</p> <p>② その方法を選んだ理由</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>次のいずれかの方法で設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> — 使用する放射化計算コードに内蔵又は附属されている放射化断面積ライブラリから選択する。このとき、最新の計算コード及び放射化断面積ライブラリを確認する。 — 中性子フルエンス率の評価結果から、放射化範囲の中性子スペクトルの特性を考慮して放射化断面積を設定する。 </div>	<p>①設定方法：右記（濃度比法）と同じ。</p> <p>②選択理由：右記（濃度比法）と同じ。</p>	<p>①設定方法：放射化計算コードの内蔵放射化断面積ライブラリを使用。</p> <p>なお、ORIGEN-S のスペクトルインデックスを用いて内蔵放射化断面積ライブラリを補正します。</p> <p>②選択理由：中性子フルエンス率・中性子スペクトルの違いを放射化計算に反映するために、ORIGEN-S を使用するので内蔵放射化断面積ライブラリを使用します。</p>	<p>左記（濃度比法）と同じ</p>	<p>①設定方法：ライブラリ JENDL-3 に基づき、黒鉛減速材部での中性子スペクトル(図 F.12 参照) を用いて 1 群放射化断面積を作成した。また、黒鉛減速材での中性子スペクトルは、WIMS コード(英国で開発された原子燃料などの群定数を作成する格子計算コード) による格子計算によって求めます。</p> <p>②選択理由：JENDL-3 は、日本の標準として利用できる評価済核データライブラリです。WIMS は英国で開発されている燃料などの群定数を計算する計算コードです。</p> <p>なお、CB を評価対象とする場合は、濃度比法と同じ設定方法、設定理由となります。</p>
6.1.2.4 照射条件	<p>a)と b)のいずれを選定したか</p> <p>① その方法を選んだ理由</p> <p>② 各方法において、照射条件を設定する場合の適切性を判断する理由(判断方法)は、同様に保守性を判断できる理由</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> </div>	<p>①選択方法：詳細に「個別に照射履歴」を設定します。(図 F.3 参照)</p> <p>②-a 設定理由：評価対象(保守的に最大値を示すと考えられる CB^注) としての CB 自体の中性子照射日数及び中性子照射停止日数を運転サイクルごとに与えるため。</p> <p>②-b 設定の妥当性：個別に、評価対象(保守的に最大値を示すと考えられる CB^注) としての CB の詳細な照射記録で設定します。</p> <p>注：照射時間が長く、照射条件である中性子フルエンス率も高い CB</p>	<p>①-a 選択方法：「代表照射履歴(照射時間)」を設定し、その収集して設定した照射時間の入力用分布からランダムサンプリングします。</p> <p>②-a 設定理由：評価対象とする CB 全体の照射条件を網羅した設定とするために、その照射時間の分布(平均及び標準偏差)を設定した上で、ランダムサンプリングによって計算用の入力条件を設定したため。</p> <p>②-b 設定の妥当性：約 13,000 体の CB の照射時間の実態調査結果を踏まえて、代表照射分布(平均 1786 日、標準偏差=654 日)を設定しています。(表 I.14 参照)</p> <p>①-b 放射化計算の入力用の設定方法：上記の CB の照射時間の実態調査結果から設定した代表照射分布から、ランダムサンプリングすることによって、照射時間を必要回数設定します。</p>	<p>①-b 選択方法：燃焼度は、J.1 に基づき、評価対象としたチャンネルボックスに装荷される燃焼集合体の許認可上の最高燃焼度 55GWd/t から、範囲を 0~55GWd/t と設定する。また、燃焼度に対する代表ポイントは 10、20、30、40、45、50、55GWd/t の 7 点を設定します。</p> <p>②-a 設定理由：換算係数法の管理指標として燃料集合体平均燃焼度を設定したため。</p> <p>②-b 設定の妥当性：最大燃焼度を 9×9 燃料の最大燃焼度の 55 GWd/t に設定している。その間の燃焼度の換算係数は内挿で求めるため、間隔が粗くならないように基本的に 10 GWd/t 間隔で設定しています。ただし、大半の 9×9 燃料の取出し燃焼度は 40~55 GWd/t の範囲であるため、この部分を 5 GWd/t 刻みとしています。</p>	<p>①-a 選択方法：黒鉛減速材の評価では詳細に GCR プラントの「個別に照射履歴」を設定します。(表 F.4 参照)</p> <p>なお、CB を評価対象とする場合は、濃度比法と同じ選択方法、設定理由となります。</p> <p>②-a 設定理由：評価対象とした黒鉛減速材自体の中性子照射日数及び中性子照射停止日数を運転区分ごとに与えるため。</p> <p>②-b 設定の妥当性：評価対象とした GCR プラントの詳細な照射記録(58 回の運転ごと：表 F.4 参照) で設定しています。</p> <p>なお、CB を評価対象とする場合は、濃度比法と同じ設定の妥当性となります。</p>
6.1.3 放射化計算 6.1.3.1 放射化計算方法	<p>① なぜ、その放射化計算方法を選んだのか</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>6.1.3.1 放射化計算方法 放射化計算を行うに当たっては、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。</p> </div>	<p>選択方法：右記（濃度比法）と同じ。</p> <p>①選択理由：右記（濃度比法）と同じ。</p>	<p>選択方法：ORIGEN-S</p> <p>①選択理由：添付 5 及び中性子フルエンス率・中性子スペクトルの違いを放射化計算に反映するために、スペクトルインデックスを設定することによって放射化計算に反映可能な ORIGEN-S を使用します。</p>	<p>左記（濃度比法）と同じ</p>	<p>選択方法：黒鉛減速材の場合は、ORIGEN2</p> <p>①選択理由：添付 5 及び ORIGEN2 は、公開コードであり、許認可ではキャスク及び高燃焼度化における使用済燃料の線源強度計算で実績があります。</p> <p>なお、CB を評価対象とする場合は、濃度比法と同じ選択方法、選択理由となります。</p>
6.1.3.2 計算用入力条件の設定	<p>放射化計算の入力パラメータ及び条件</p> <p>① 区間推定法の場合、入力パラメータ及び条件をランダムに抽出するか</p>	<p>①設定方法：代表条件(ここでは、評価対象 CB(保守的に最大値を示すと考えられる CB^注) の評価対象位置の条件) で設定する方法</p>	<p>①設定方法：入力パラメータ及び条件をランダムに抽出する方法</p> <p>②選択理由：評価対象物の条件範囲を網羅した無作為な評価を行うために、入力条件を設定し</p>	<p>①設定方法：左記（濃度比法）と同じ。</p> <p>②選択理由：評価対象物の条件範囲(Key 指標である燃料集合体平均燃焼度に対し、元素組成・中性子フルエンス率・中性子スペクトル</p>	<p>①設定方法：左記（濃度比法）と同じ。</p> <p>②選択理由：左記（濃度比法）と同じ。</p>

規定	説明して欲しい内容	点推定法	区間推定法		
			濃度比法	換算係数法	濃度分布評価法
	<p>は適切な代表条件を設定するかどちらか</p> <p>② その方法を選んだ理由</p> <p>6.1.3.2 計算用入力条件の設定 6.1.2 を踏まえ、適用する理論計算法(点推定法又は区間推定法)ごとに必要となる、次の放射化計算の入力パラメータ及び条件を、評価対象とする放射化金属等ごとに設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> — 元素成分条件 — 中性子条件 — 照射条件 <p>なお、区間推定法を適用する場合は、各入力パラメータ及び条件について、6.1.2 で評価した入力条件の分布又は範囲から、ランダムに抽出して放射化計算の入力データとして設定するか、又は、適切な代表的条件を放射化計算の入力条件として設定する。</p>	<p>② <u>選択理由</u>：特定の評価対象 CB (保守的に最大値を示すと考えられる CB^{2b)} 及び評価対象位置を設定するため。</p> <p>注：照射時間が長く、照射条件である中性子フルエンス率も高い CB</p>	<p>た分布などからランダムサンプリングで行う必要があるため。</p> <p><u>放射化計算の実施(濃度比の評価)</u>：設定した計算用入力条件を使用して行った必要数の放射化計算の結果(Key 核種と評価対象核種の放射能濃度)を使用して、適用する評価対象核種に対する濃度比(最大放射能濃度を評価する場合は算術平均値を適用)を決定します。</p>	<p>ル)を網羅した無作為な評価を行うために、入力条件を設定した分布などからランダムサンプリングで行う必要があるため。</p> <p><u>放射化計算の実施(換算係数の評価)</u>：Key 指標である燃料集合体平均燃焼度に対し、微量元素組成と、軸方向ノード(熱中性子束・スペクトル)をランダムに設定し、燃焼度ごとに、必要数の放射化計算の結果である放射能濃度分布を計算します。この計算結果から放射能濃度と燃焼度との比である換算係数の分布を求め、最大放射能濃度を評価するための換算係数を決定します。</p>	<p><u>放射化計算の実施(濃度分布の評価)</u>：設定した計算用入力条件を使用して行った必要数の放射化計算の結果を使用して、適用する評価対象核種に関する放射能濃度の分布を決定します。</p>
6.1.3.3 放射化計算の計算数の設定6.1.3.3.1 点推定法	<p>① 必要計算数</p> <p>② その数で妥当とした理由</p> <p>6.1.3.3 放射化計算の計算数の設定 6.1.3.3.1 点推定法 必要計算数は、評価対象とする放射化金属等の大きさ及び中性子フルエンス率の差異(例1参照)、評価対象とする放射化金属等の部位の特徴(例2参照)などを考慮して決定する。</p>	<p>② <u>計算数</u>：1点</p> <p>② <u>その数で十分と判断した理由</u>：点推定法で、最大放射能濃度を評価する場合は、CBの最大濃度の位置での保守性(元素濃度、照射時間に最大値、又は信頼上限値を適用する)を含む計算でCB全体を評価するため。</p> <p>又は、附属書Fに示すCo-60に関する計算と分析との比較検証用の場合は、特定のCBの特定の評価部位(試料採取位置)での保守性を含まない計算のため。</p>	—	—	—
6.1.3.3.2 区間推定法	<p>① 実施した計算数</p> <p>② その数で十分と判断した理由</p> <p>6.1.3.3 放射化計算の計算数の設定 6.1.3.3.2 区間推定法 実施した放射化計算結果の数が、放射能濃度決定のための評価データとして十分かについては、放射化計算を行った数とその放射化計算結果とが示す統計値の安定性の推移を踏まえて判断する。</p>	—	<p>① <u>計算数</u>：附属書Iに示します計算例では40点</p> <p>② <u>その数で十分と判断した理由</u>：核種間の相関関係に依存するため、核種ごとに必要計算回数は異なりますが、例示したNb-94の場合はCo-60との相関係数0.83であり、計算数としては、30点で充分と考えますが、他の核種も含めた統一した評価例を示すため40点としています。</p> <p>(計算数の充足性の判断に関しては、添付7に示しました第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。)</p>	<p>① <u>計算数</u>：前述した各集合体平均燃焼度7点(10、20、30、40、45、50、55GWd/t)に対して、今後、各々40ケースを計算し、合計280ケースになると想定されます。</p> <p>② <u>その数で十分と判断した理由</u>：今後、各燃焼度において40ケースで評価した放射能濃度の分布(または放射能濃度と燃焼度との比で求められる換算係数の分布)が正規分布と見なせることに関して、統計検定を用いて評価するものと想定されます。</p> <p>なお、最大燃焼度を9×9燃料の最大燃焼度の55GWd/tに設定し、その間は間隔が粗くならないように基本的に10GWd/t間隔で設定しています。ただし、大半の9×9燃料の取出し燃焼度は40～55GWd/tの範囲であるため、この部分を5GWd/t刻みとしています。</p>	<p>① <u>計算数</u>：附属書Kに示します計算例では40点</p> <p>② <u>その数で十分と判断した理由</u>：附属書の図K.5に示しますように、統計値安定後の濃度の平均値と95%信頼上限値がほとんど変化しない状態になっていることを視覚的に確認することで判断しています。定量的には、計算の数量が30以上になる段階から各々の値の変化が10%以内に安定しています。</p> <p>(計算数の充足性の判断に関しては、添付10に示しました第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(規制庁追加コメントに対する補足回答)回答11(4)を参照ください。)</p>

規定	説明して欲しい内容	点推定法	区間推定法		
			濃度比法	換算係数法	濃度分布評価法
6.1.4 表面汚染の取扱い	<p>① 表面汚染を除染したか</p> <p>② 除染した場合、除染が十分と判断した根拠</p> <p>③ 除染しない場合、表面に付着した放射性物質の放射能濃度の評価結果</p> <p>④ 理論計算法で決定した放射能濃度に加えなかった場合、その理由</p>	右記（濃度比法）と同じ	<p>①表面汚染の除染：系統除染程度は実施しますが、機械的除染の実施は未定です。</p> <p>②除染が十分と判断した根拠：標準では理論的方法の説明のため、汚染分に関する具体例までを示していませんが、下記のように考えます。</p> <p>③表面汚染分の考慮： 表面汚染分の放射能濃度を評価して、放射化分の放射能濃度に加えることが基本です。表面汚染を評価した結果は、標準にはありませんが、母材とクラッド分の比を評価した結果を解説表3に示しています。</p> <p>④表面汚染分の考慮が不要な場合の例： 除染などによって、表面汚染分の放射能濃度への影響が低いと考えられる場合は、表面汚染分を考慮する必要はないと考えます。 ・埋設における汚染分の線量評価への影響に比べ小さいと考えられる濃度以下（現段階では明確でない）の場合</p>	左記（濃度比法）と同じ	濃度分布評価法 濃度比法と同じ
6.3.1 理論的方法の妥当性確認 6.3.1.1 妥当性確認の方法	<p>① 放射化計算方法及び計算手順が期待される結果を与えたか</p> <p>② そのように判断した根拠</p> <p>③ 計算が、恒常的に、正確に実施できるか</p> <p>④ そのように判断した根拠</p>	<p>①及び②計算方法・結果：分析—計算の比較及び保守性の評価によって、適用する方法・手順によって、廃棄体の放射能濃度を精度よく決定することが出来ることを確認します。（6.4の説明参照）</p> <p>③恒常的に、正確に実施：妥当性が確認された計算コードを使用し、計算手順書を定め、入力条件書を作成した上で手順に沿って実施し、計算の記録を残すことで、再現性が得られる評価結果となっています。</p> <p>④判断した根拠：第三者によって上記の方法（検証結果含む）、手順及び入力データが確認でき、かつ、再評価もできるようになっているため。</p>	左記（点推定法）と同じ （左記の分析—計算結果の比較検証及び計算コード及び入力条件の明確化を確認する）	点推定法と同じ	点推定法と同じ
6.3.1.2 不確かさの扱い	<p>① 不確かさの評価方法と結果</p>	—	<p>①-a 不確かさの評価方法：計算結果である濃度比（平均値）に関しては信頼限界を評価し、組合せる Key 核種濃度（非破壊測定の場合）に関しては、変動係数を評価し、双方を乗ることで、評価した放射能濃度の不確かさの範囲を評価します。</p> <p>①-b 結果の不確かさの試算結果：Nb-94 の場合（算術平均を適用）で、約 1.6 倍の不確かさを含みます（添付 8 参照）</p>	<p>①-a 不確かさの評価方法：現状、計算結果である換算係数の不確かさは評価していません。</p> <p>①-b 結果の不確かさの試算結果：現状、計算結果である換算係数の不確かさは評価していません。</p> <p>※今後、上記の最大放射能濃度を算出手順で計算した結果にて不確かさを評価するものと想定されます。 各燃焼度における放射能濃度の分布（または、放射能濃度と燃焼度の比で計算される換算係</p>	<p>①-a 不確かさの評価方法：計算結果である放射能濃度の平均値及び標準偏差を踏まえ、信頼限界を評価し、評価した放射能濃度の分布のもつ不確かさの範囲を評価します。</p> <p>①-b 結果の不確かさの試算結果：Nb-94 の場合で放射能濃度分布は、約 1.8 倍の不確かさ（上側へのスライドする恐れ）を有していると考えられます（添付 9 参照）</p>

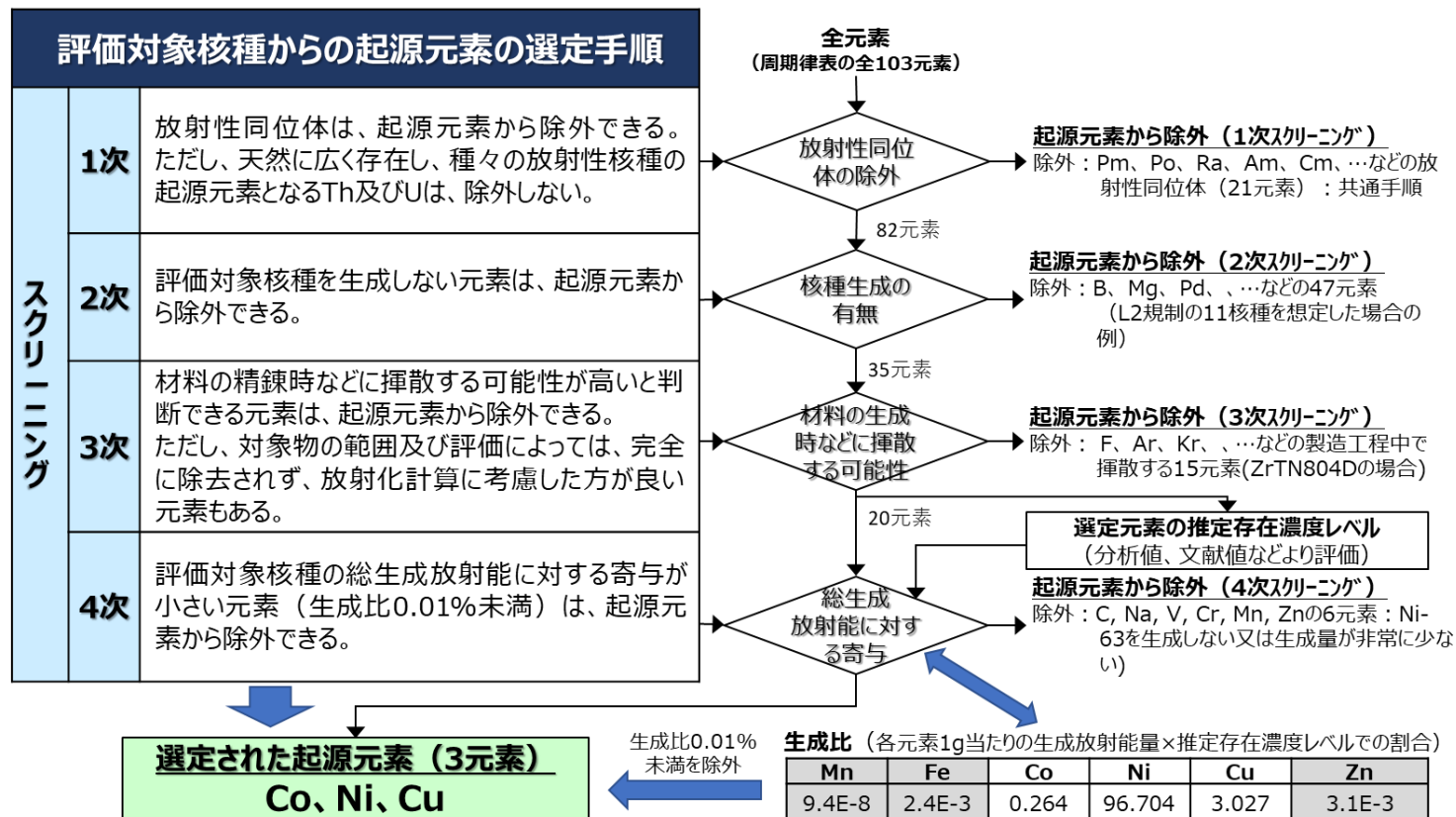
規定	説明して欲しい内容	点推定法	区間推定法																
			濃度比法	換算係数法	濃度分布評価法														
				数の分布) の計算結果のもつ不確かさに関して、その分布の平均値、標準偏差を考慮した信頼区間を踏まえて評価するものと想定されます。 なお、燃料度は中性子フルエンスに概ね比例するため、スペクトル・微量元素の不確かさに起因するものと想定しています。															
6.5 放射能濃度の評価における裕度	<p>① 最大放射能濃度との比較に用いる推定放射能濃度の算出方法と結果</p> <p>② 提示する評価精度値とその根拠</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>6.5 放射能濃度の評価における裕度 理論的方法又は実証的方法による放射能濃度決定方法によって放射能濃度を評価する場合、最大放射能濃度を超えないことを確認するため、適切な裕度を考慮する。</p> <p>解説 6.5.2 最大放射能濃度を超えないことを確認する方法 (スクリーニングレベルの適用)</p>  <p>解説図 11—スケールングファクタ法の適用可能範囲 (浅地中ビット処分対象廃棄物の場合)</p> </div> <p>注 核種分析値の計数値の統計変動 (計数誤差) は、"±0.2%"であった。</p> <p>なお、最大放射能濃度の評価に適用する場合は、計算条件に保守的条件 (入力条件に最大値、又は信頼上限値の適用) を設定することで裕度を確保できます。</p>	<p>—</p> <p>(附属書 F は、Co-60 に関する理論計算と分析との比較検証用) に実施しているため、保守性を加味した最大放射能濃度の評価ではありませんので、計算方法自体は下記の評価精度です。)</p> <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">放射能濃度の計算結果と分析結果</th> </tr> <tr> <th>放射性核種</th> <th>核種分析値^{a)} (Bq/t)</th> <th>放射化計算結果 (Bq/t)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>⁶⁰Co</td> <td>3.3×10¹²</td> <td>3.4×10¹²</td> </tr> </tbody> </table> <p>注 a) 核種分析値の計数値の統計変動 (計数誤差) は、"±0.2%"であった。</p>	放射能濃度の計算結果と分析結果			放射性核種	核種分析値 ^{a)} (Bq/t)	放射化計算結果 (Bq/t)	⁶⁰ Co	3.3×10 ¹²	3.4×10 ¹²	<p>①-a 最大放射能濃度の評価に適用する濃度比: 「算術平均濃度比」を適用します。 これに加え、放射化計算の結果の不確かさ (附属書 I の表 I.21 の計算結果では、最も小さい Cl-36 の場合で最大の濃度比/算術平均濃度比=2.4、最も大きい Sr-90 の場合で最大の濃度比/算術平均濃度比=5.9) は、10 倍以内に収まっており、濃度比法を適用できる範囲を制限するスクリーニングレベル (例えば 1/10) を設定することによって、最大放射能濃度を超えないことの確認が可能です。</p> <p>①-b 推定放射能濃度の算出方法と結果: 「算術平均濃度比」に Key 核種 (Co-60) の放射能濃度 (非破壊外部測定によって評価した結果、または理論計算によって評価した結果) を乗じることで、評価対象核種の放射能濃度を決定します。</p>	<p>①最大放射能濃度との比較に用いる換算係数及び推定放射能濃度の算出方法と結果: 現状、比較に用いる推定放射能濃度の算出方法と結果はありません。 ※今後、各燃焼度における放射能濃度の分布 (または、放射能濃度と燃焼度との比で計算される換算係数の分布) を計算した結果を踏まえて、放射能濃度の算出と不確かさを評価するものと想定されます。</p>	①-b 推定放射能濃度の算出方法と結果: 計算した放射能濃度の結果の「最大放射能濃度」を適用します。					
放射能濃度の計算結果と分析結果																			
放射性核種	核種分析値 ^{a)} (Bq/t)	放射化計算結果 (Bq/t)																	
⁶⁰ Co	3.3×10 ¹²	3.4×10 ¹²																	
		—	下に計算結果と分析結果の比較及び最大放射能濃度の評価結果 (区間推定法の比較用) を示します。	—	濃度比法と同じ														
	(最大放射能濃度の評価結果の比較) 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。	<p>—</p> <p>(CB を例に最大値計算を実施していない) ただし、放射能濃度を評価した結果の最大値を適用すると下記の値</p> <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <tbody> <tr> <td>Nb-94 の最大放射能濃度の求め方</td> <td>計算した Nb-94 の放射能濃度の結果¹⁾の最大値を使用して、Nb-94 の最大放射能濃度として評価</td> </tr> <tr> <td>評価した Nb-94 最大放射能濃度</td> <td>6.2 E+9 Bq/t</td> </tr> </tbody> </table> <p>注 1 附属書 I の表 I.21 に示す放射化計算の結果</p>	Nb-94 の最大放射能濃度の求め方	計算した Nb-94 の放射能濃度の結果 ¹⁾ の最大値を使用して、Nb-94 の最大放射能濃度として評価	評価した Nb-94 最大放射能濃度	6.2 E+9 Bq/t	<p>最大放射能濃度の評価条件と評価結果</p> <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <tbody> <tr> <td>Co-60 の最大放射能濃度の設定方法</td> <td>計算した結果¹⁾の Co-60 の放射能濃度の最大値を Co-60 の最大放射能濃度と適用</td> </tr> <tr> <td>Nb-94 の最大放射能濃度の求め方</td> <td>①Co-60 放射能濃度と一緒に計算された Nb-94 放射能濃度を使用して、Nb-94/Co-60 濃度比 (算術平均) を評価 ②上欄の Co-60 放射能濃度 (最大値) に、①で求めた Nb-94/Co-60 濃度比を乗じて Nb-94 の最大放射能濃度を評価</td> </tr> <tr> <td>評価した Nb-94 最大放射能濃度</td> <td>4.9 E+9 Bq/t</td> </tr> </tbody> </table> <p>注 1 附属書 I の表 I.21 に示す放射化計算の結果</p>	Co-60 の最大放射能濃度の設定方法	計算した結果 ¹⁾ の Co-60 の放射能濃度の最大値を Co-60 の最大放射能濃度と適用	Nb-94 の最大放射能濃度の求め方	①Co-60 放射能濃度と一緒に計算された Nb-94 放射能濃度を使用して、Nb-94/Co-60 濃度比 (算術平均) を評価 ②上欄の Co-60 放射能濃度 (最大値) に、①で求めた Nb-94/Co-60 濃度比を乗じて Nb-94 の最大放射能濃度を評価	評価した Nb-94 最大放射能濃度	4.9 E+9 Bq/t	<p>—</p> <p>(最大放射能濃度の評価は基礎データが不足しており、評価できておりません: 今後評価)</p>	<p>最大放射能濃度の評価条件と評価結果</p> <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <tbody> <tr> <td>Nb-94 の最大放射能濃度の求め方</td> <td>計算した Nb-94 の放射能濃度の結果¹⁾の最大値を使用して、Nb-94 の最大放射能濃度として評価</td> </tr> <tr> <td>評価した Nb-94 最大放射能濃度</td> <td>6.2 E+9 Bq/t</td> </tr> </tbody> </table> <p>注 1 附属書 I の表 I.21 に示す放射化計算の結果</p>	Nb-94 の最大放射能濃度の求め方	計算した Nb-94 の放射能濃度の結果 ¹⁾ の最大値を使用して、Nb-94 の最大放射能濃度として評価	評価した Nb-94 最大放射能濃度	6.2 E+9 Bq/t
Nb-94 の最大放射能濃度の求め方	計算した Nb-94 の放射能濃度の結果 ¹⁾ の最大値を使用して、Nb-94 の最大放射能濃度として評価																		
評価した Nb-94 最大放射能濃度	6.2 E+9 Bq/t																		
Co-60 の最大放射能濃度の設定方法	計算した結果 ¹⁾ の Co-60 の放射能濃度の最大値を Co-60 の最大放射能濃度と適用																		
Nb-94 の最大放射能濃度の求め方	①Co-60 放射能濃度と一緒に計算された Nb-94 放射能濃度を使用して、Nb-94/Co-60 濃度比 (算術平均) を評価 ②上欄の Co-60 放射能濃度 (最大値) に、①で求めた Nb-94/Co-60 濃度比を乗じて Nb-94 の最大放射能濃度を評価																		
評価した Nb-94 最大放射能濃度	4.9 E+9 Bq/t																		
Nb-94 の最大放射能濃度の求め方	計算した Nb-94 の放射能濃度の結果 ¹⁾ の最大値を使用して、Nb-94 の最大放射能濃度として評価																		
評価した Nb-94 最大放射能濃度	6.2 E+9 Bq/t																		
			②結果の不確かさの試算結果: Nb-94 の場合、約 1.6 倍 (算術平均適用の場合) のばらつきを含む (添付 8 参照)	②結果の不確かさの試算結果: 平均放射能濃度の算出例を示しており、最大放射能濃度の不確かさの試算結果はありません。	②結果の不確かさの試算結果: Nb-94 の場合、約 1.8 倍 (平均値の不確かさ: 濃度の高い側に)														

規定	説明して欲しい内容	点推定法	区間推定法		
			濃度比法	換算係数法	
			<p>また、下図（Nb-94 と Co-60 の放射能濃度の計算結果の散布図）のように理論計算による計算結果と CB の代表試料の分析結果の比較によって保守性も把握しています。</p>  <p>注記1 CB 中央部の分析結果を●で示す。比較は計算結果 (○) の最大領域の結果 (赤破線の○で囲った部分) との比較となる。</p> <p>注記2 Co-60 の最大放射能濃度に濃度比を乗じて Nb-94 の最大放射能濃度を評価した。</p>	<p>※今後、最大放射能濃度を算出する手順に従って計算した結果にて不確かさを評価するものと想定されます。</p> <p>なお、結果の不確かさのばらつきは、計算条件（微量元素成分、中性子フルエンス・中性子スペクトル）のばらつきに起因すると想定しています。</p>	<p>濃度分布評価法</p> <p>分布がスライドする恐れ) のばらつきを含む (添付9参照)</p>  <p>注記 CB のNB-94 の計算結果をヒストグラムで示した。この放射能濃度分布の最大値で評価した。</p>

添付1

評価対象核種からの起源元素の選定方法の例 (材質ZrTN804D、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、ZrTN804D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。



添付2 第2回検討チーム会合 資料 2-1-3 P33 -中性子輸送計算コード(例 MCNP)の妥当性-

1. 概要

MCNPコードは三次元輸送計算コードであり、米国ロスアラモス国立研究所(LANL)で開発された、中性子、光子及び電子輸送問題を解くための汎用解析モンテカルロコードである。

2. 機能

MCNPコードは、遮蔽解析に際して以下の機能を有する。

- 1) MCNPコードは二次曲面の論理演算によって表現された任意の三次元領域を取扱うことができ、形状モデルや断面積データを正確に取り扱うことができる。
- 2) 断面積の取扱いに連続エネルギーを採用している。

3. 解析フロー

MCNPコードの解析フローを図に示す。

4. 使用実績

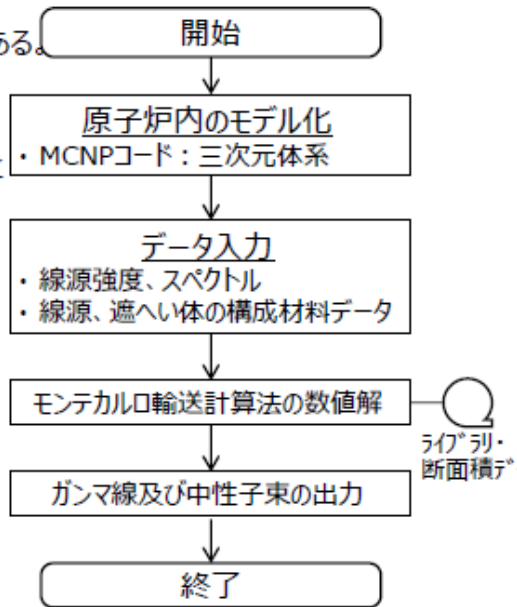
国内では、「原子力発電所放射線遮へい設計規程」¹⁾において、原子力施設の遮蔽のための輸送計算コードとしてモンテカルロ法を用いた計算手法の適用が可能とされており、MCNPコードは放射性物質輸送・貯蔵容器の遮蔽解析などで用いられている。米国では使用済燃料貯蔵施設の審査指針である「Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Facilities」(NUREG-1567)においては遮蔽解析ツールとしてMCNPコードが記載されており、遮蔽設計、線量評価等で使用されている。

5. 検証

汎用コードの導入評価²⁾が実施されていることを確認。

大型実験/ベンチマーク試験による検証^{3) 4)}が実施されていることを確認。実機においても検証例^{5) 6)}が報告されている。

- 1) 一般社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会,「原子力発電所放射線遮蔽設計規程」,JEAC 4615-2020, (2020).
- 2) J.F. Briesmeister (Ed.), "MCNP - a general Monte Carlo n-particle transport code, version 4A", Los Alamos National Laboratory Report, LA-12625-M, 1993.
- 3) 平沼巨樹ほか, "MCNP-ラインビームレスポンス接続によるBWRタービンスカイシャイン線量評価手法の適用", 日本原子力学会誌和文論文誌, Vol.4, No.2(2005)
- 4) 小佐古敏荘ほか, "MCNPコードの金属キャスク貯蔵方式中間貯蔵施設線量評価への適用", 日本原子力学会和文論文誌, Vol.6, No.3 (2007)
- 5) 石川真澄ほか, "余裕深度処分対象低レベル放射性廃棄物であるチャンネルボックス片の放射能濃度測定値と解析値との比較", 平成21年度日本原子力学会 2009年秋の大会, 2009年9月
- 6) T.Waki, et al., "Study on the improved evaluation of radioactivity of activated control rods in PWR", International congress on advances in nuclear power plants 2009 (ICAPP 2009), Vol.3, (2009)



MCNPコードの解析フロー図

添付3 第2回検討チーム会合 資料2-1-3 P34
 -中性子輸送計算コード(例 単位燃料集合体核特性コード)の妥当性-

1. 概要

単位燃料集合体核特性コードは燃料集合体の反応度や出力分布等の核的性質を解析するコードであり、GEや東芝などメーカーが独自に開発してきた解析コードである。単位燃料集合体核特性コードを用いる場合は、必要に応じて出力密度及びボイド率による補正を行う。

2. 機能

単位燃料集合体核特性コードは、遮蔽解析に際して以下の機能を有する。

- 1) 1体の燃料集合体を対象に、中性子の空間的・エネルギー的振舞いを評価する。
- 2) 単位燃料集合体核特性コードは、二次元の体系を扱うことができる。

3. 解析フロー

単位燃料集合体核特性コードの解析フローを図に示す。

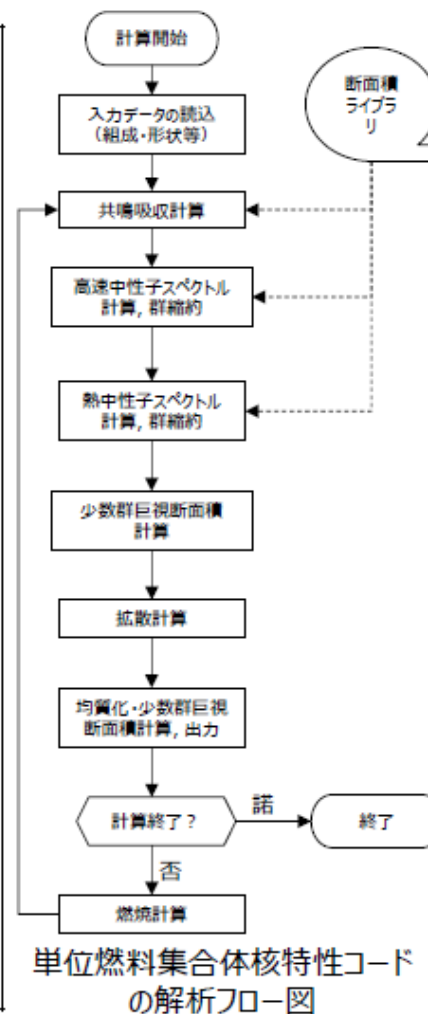
4. 使用実績

単位燃料集合体核特性コードは、原子力施設の炉心設計及び中性子束分布評価に広く用いられており、豊富な実績がある。

5. 検証

コードの導入評価¹⁾が実施されていることを確認。
 臨界試験／実機運転実績等による検証¹⁾が実施されていることを確認。

1) (株)東芝, “沸騰水型原子力発電所燃料集合体核特性計算手法”, TLR-006Rev.1, 平成20年



添付4 第2回検討チーム会合 資料2-1-3 P36
 -中性子輸送計算コード(例 DOT/DORT)の妥当性-

1. 概要

DOT3.5コード(以下、「DOTコード」という。)及びDORTコードは二次元輸送コードであり、米国オークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された汎用解析コードである。

2. 機能

DOT/DORTコードは、遮蔽解析に際して以下の機能を有する。

- 1) ガンマ線や中性子線に対するボルツマン輸送方程式を解くことによる数値解析法であり、放射線の挙動を追跡するのに重要な非等方性が表現できる。
- 2) DOT/DORTコードは、二次元の体系を扱うことができる。

3. 解析フロー

DOT/DORTコードの解析フローを図に示す。

4. 使用実績

DOT/DORTコードは、原子力施設の遮蔽計算に広く用いられており、輸送キャスクの遮蔽解析やRPV鋼材監視試験に豊富な実績がある。

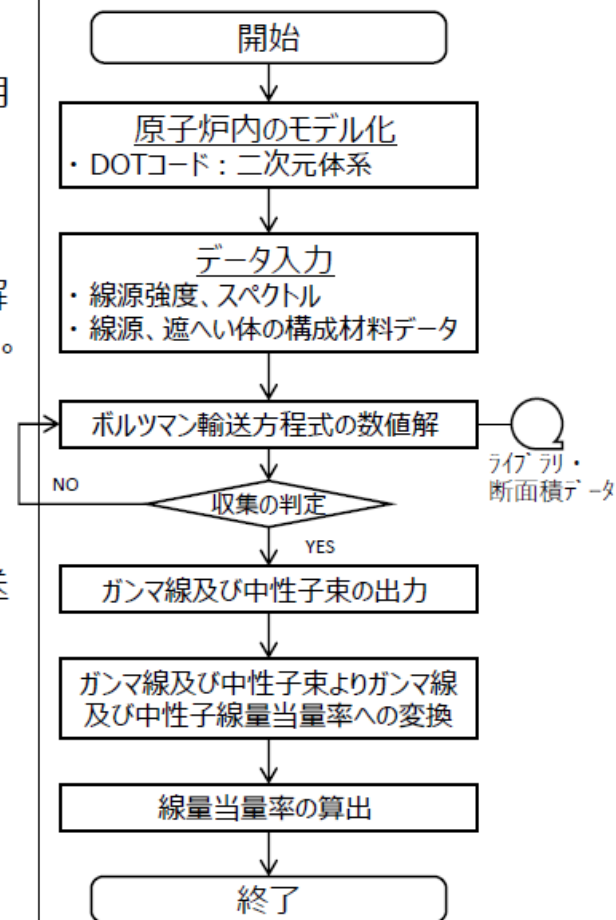
5. 検証

汎用コードの導入評価¹⁾が実施されていることを確認。

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を確認。

1) W. A. Rhoades, "DOT3.5 TWO DIMENSIONAL DISCRETE ORDINATES RADIATION TRANSPORT CODE", CCC-276, 1978年10月

2) Yamano N. et al., "Integral Test of JENDL-3.3 with Shielding Benchmarks", J. Nucl. Sci. Technol., Supplement 2, p.841-846, 2002



DOT/DORT コードの解析フロー図

添付5 第2回検討チーム会合 資料2-1-3 P13

放射化計算コード (例 ORIGEN-S) の妥当性

1. 概要

ORIGEN-Sコードとは、米国オークリッジ国立研究所にて開発されたORIGENシリーズの一つである。SCALEシステムの一部であり、ORIGEN-79同様3群のスペクトルを使用可能である。

一連のORIGENコードを使用して計算できる内容は、次のとおりである。

- 1) 燃焼計算 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) 放射化計算 評価対象である構造材の材料組成, 中性子束, 照射履歴を入力することによって, 構造材の放射化放射エネルギーを計算する。
- 3) 崩壊計算 評価対象である材料組成, 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。

2. 使用実績

ORIGEN-Sは、炉内構造物の放射化計算, 原子炉施設の廃止措置に使用されている。

3. 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

放射化計算コード (例 ORIGEN2) の妥当性

1. 概要

ORIGEN2 コードとは、米国オークリッジ国立研究所にて開発されたもので、数百種を超える核種に対する核反応による生成核種を評価できる。

ORIGEN2 コードを使用して計算できる内容は、次のとおりである。

- 1) 燃焼計算 核分裂物質の量、比出力及び燃焼時間を入力することによって、燃料の燃焼に伴う核分裂生成物、放射化生成物の生成量、放射能及び発熱量の計算を行う。
- 2) 放射化計算 評価対象とする放射化金属等の元素成分条件、中性子条件及び照射時間を入力することによって、評価対象とする放射化金属等内の放射化生成物、Uなどの核分裂性物質が含まれる場合は、核分裂生成物の生成量、放射能及び発熱量の計算を行う。
- 3) 崩壊計算 対象とする放射性物質の量及び減衰時間を入力することによって、放射性物質の放射性崩壊及び放射性崩壊の連鎖を考慮した放射性物質の量、放射能及び発熱量の計算を行う。

2. 使用実績

ORIGEN2コードは、使用済燃料、再処理工程の線源強度評価、放射性廃棄物の放射能評価、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。

3. 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) 3)} 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 ATRIX 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
- 3) A. G. Croff, "ORIGEN2 : A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristics of Nuclear Materials", Nuclear Technology, Vol.62, (1983)

添付7 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)

標準に記載されている内容ではありませんが、必要計算数の考え方としましては、次の考え方が適用できます。

必要計算数の考え方の例として、IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.18 に示されるスケーリングファクタの評価に必要な分析データの充足数に関する引用文献[1]があり、図 13(4)-4 の評価結果（相関係数 0.8 の場合の 100 点のデータまでの統計値の推移を評価した例）などを踏まえ、理論計算の計算数を増し続けても、計算結果の信頼性の指標となる統計値（相関係数などの 95%信頼下限値）の向上率が、図 13(4)-4 のように徐々に低下し、計算数を向上したとしてもその効果が得られなくなっていくます。

このように計算数を増やした場合に得られる計算結果の信頼性の向上率が小さくなり、安定した段階が、計算数が充足したと判断できる数量と考えます。この計算数としての充足性を満たす数量（引用文献ではスケーリングファクタ法における必要データ数）に関して、相関係数ごとに表 13(4)-2 に示されており、このデータ数の充足性を満たす数量の考え方が、同じ統計値（相関関係を踏まえた濃度比）を利用して評価する理論的方法にも適用することが可能です。

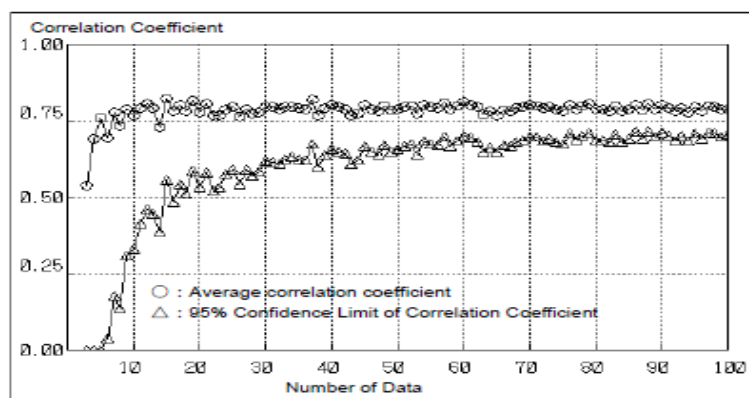


図 13(4)-4 *The changes in correlation coefficient with the number of samples* (相関係数 0.8 の例[1])

表 13(4)-2 *Required number of data according to the correlation coefficient and based on a 95% confidence limit* [1]

	Correlation Coefficient				
	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95
Required number of data	40	35	30	25	20

出典 1 KASHIWAGI M., MÜLLER W., LANTÈS B., “Considerations on the activity concentration determination method for low-level waste packages and nuclide data comparison between different countries”, Safety of Radioactive Waste Management (Proc. Int. Conf. Cordoba, 2000), IAEA, Vienna (2000) 175–179.

添付8 区間推定法（濃度比法）における不確かさの評価

評価方法	評価方法内における不確かさの程度	放射化計算結果以降の評価で生じるばらつきの評価									
濃度比法 (附属書Iの表I.21の結果を使用し新たに計算した結果)	<ul style="list-style-type: none"> CB グループ内でのばらつきを考慮した入力条件での濃度比の計算結果の不確かさ： Nb-94 での試算例： 各濃度比及び99%信頼上限との比： <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>算術平均</th> <th>幾何平均</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>濃度比</td> <td>1.2E-4</td> <td>8.9E-5</td> </tr> <tr> <td>99%信頼上限との比</td> <td>1.3 倍</td> <td>1.4 倍</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> 非破壊測定結果 (Co-60) の不確かさ： 測定精度：±20% [1] (L1 廃棄体に収納している廃棄物は体積線源と想定でき、より均一廃棄体に近いと仮定されるが、保守性を加え充填固化体の測定評価結果を適用した) 		算術平均	幾何平均	濃度比	1.2E-4	8.9E-5	99%信頼上限との比	1.3 倍	1.4 倍	評価した放射能濃度は、濃度比 (算術平均) の評価値と非破壊測定値の不確かさを加味すると、評価値は約 1.6 倍となる可能性がある。
	算術平均	幾何平均									
濃度比	1.2E-4	8.9E-5									
99%信頼上限との比	1.3 倍	1.4 倍									

参考資料

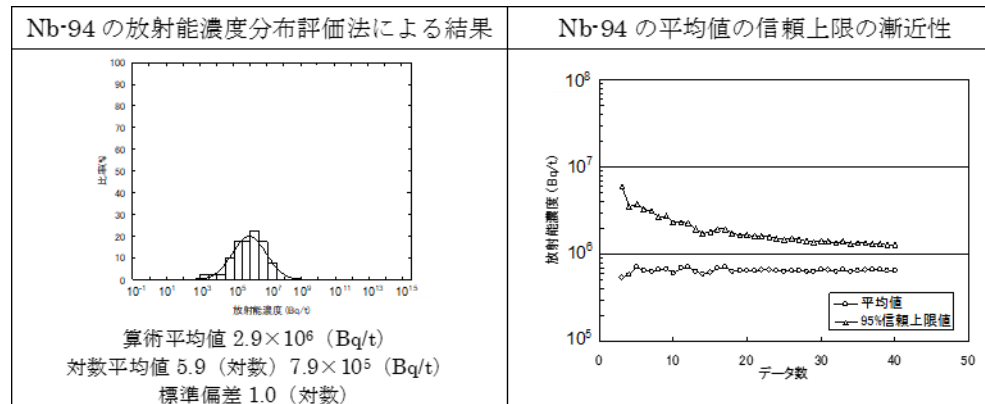
[1] 酒井ら, 充填固化体の放射能評価について, 原子力バックエンド研究, Vol15, No1(1998)

添付9 区間推定法（濃度分布評価法）における不確かさの評価

評価方法	評価方法内における不確かさの程度	放射化計算結果以降の評価で生じるばらつきの評価									
濃度比法 (附属書Iの表I.21の結果を使用し新たに計算した結果)	<ul style="list-style-type: none"> CB グループ内でのばらつきを考慮した入力条件での放射能濃度の計算結果の不確かさ： Nb-94 での試算例： 各平均濃度及び99%信頼上限との比： <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>算術平均</th> <th>幾何平均</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均濃度</td> <td>1.9E+9</td> <td>1.1E+9</td> </tr> <tr> <td>99%信頼上限との比</td> <td>1.4 倍</td> <td>1.8 倍</td> </tr> </tbody> </table>		算術平均	幾何平均	平均濃度	1.9E+9	1.1E+9	99%信頼上限との比	1.4 倍	1.8 倍	評価した放射能濃度は、放射能濃度分布のばらつきを加味すると、評価値は分布の平均値の不確かさから濃度分布自体が約 1.8 倍高い濃度側にスライドする可能性がある。
	算術平均	幾何平均									
平均濃度	1.9E+9	1.1E+9									
99%信頼上限との比	1.4 倍	1.8 倍									

添付 10 区間推定法（濃度分布評価法）における安定して分布しているとはどのような状態を指すのか

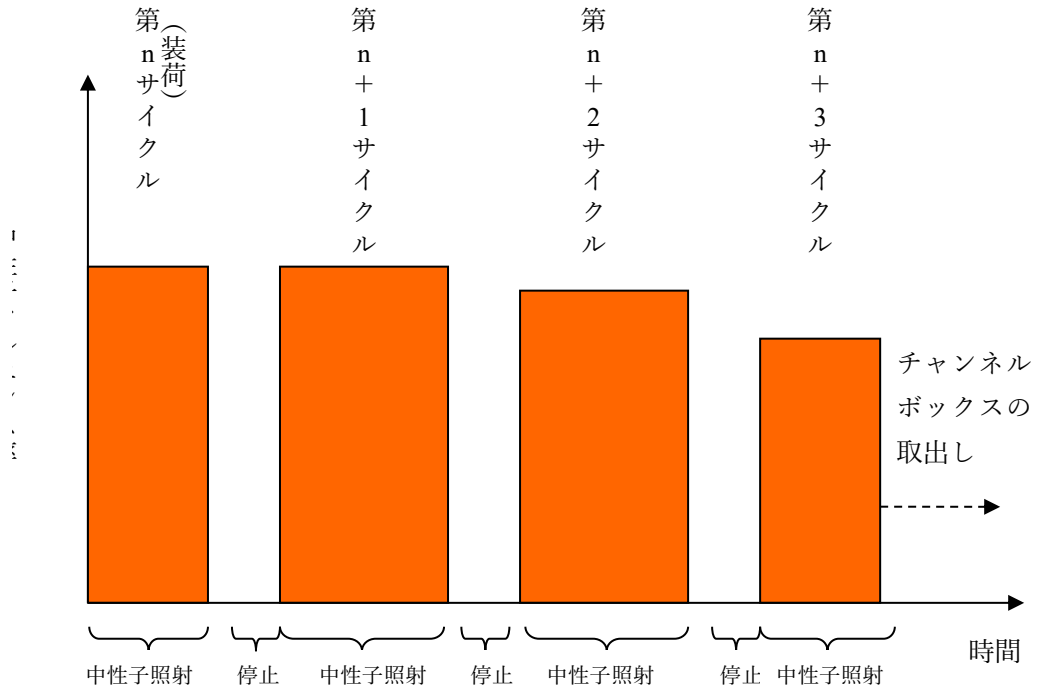
評価の対象とする放射化金属等の放射能濃度を評価した結果である放射能濃度分布を代表する放射能濃度（例えば、平均放射能濃度）の信頼性が、計算の回数（総数）を増加させても向上しないという意味です。具体的には、放射化計算によって評価した放射化金属等の放射能濃度分布の平均放射能濃度の 95%信頼上限値は、実施した放射化計算の数量に応じて変化し、計算の回数が少ないとより大きな値を示します。しかし、計算の数量を多くすることで「平均放射能濃度」と「平均放射能濃度の 95%信頼上限値」の差は、下図（附属書 K の図 K.5 及び K.6 から抜粋）に示しますように、差異が小さくなって漸近して一定の差の状態になります。この状態を「安定して分布している」と表記しました。



附属書 K の図 K.5 に示しましたように、計算の数量を多くすることで、「平均放射能濃度」と「平均放射能濃度の 95%信頼上限値」の差異が小さくなる傾向が見られます。これは両者の値が一定の値に近づく結果によるものです。資料 2-1-1 で回答しましたように、両者の差異が小さくなって漸近して一定の差の状態になる状態を、「安定して分布している」と表記しましたが、誤解を生じさせる回答となっていました。

「安定して分布している」と表記したのは、両者の値が一定の値に近づく状態を指しているものです。その判断は、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 13(4) と同様に、統計値の安定性で評価します。すなわち、附属書の図 K.5 に示しますように、統計値安定後の濃度の平均値と 95%信頼上限値がほとんど変化しない状態になっていることを視覚的に確認することで判断しています。定量的には、計算の数量が 30 以上になる段階から各々の値の変化が 10%以内に安定してくることから、このケースでは、10%が定量的な基準と判断できると考えます。

【濃度比法に関する評価例の参考】



附属書 F 図 F.3—チャンネルボックスの中性子の照射履歴（概念図）

附属書 G 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）

単位: Bq

起源元素 (1次SL ¹⁾ 後)	評価対象核種										
	¹⁴ C	³⁶ Cl	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	⁹⁴ Nb	⁹⁹ Tc	¹²⁹ I	¹³⁷ Cs	²³⁷ Np	全α
H	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
He	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Li	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Be	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C	1.00 ×10 ⁵	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N	1.04 ×10 ¹⁰	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
O	5.51 ×10 ⁵	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	3.61 ×10 ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ne	1.36 ×10 ⁶	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na	4.91 ×10 ¹	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Al	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Si	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	1.90 ×10 ³	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cl	—	5.99 ×10 ⁸	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ar	—	2.64 ×10 ⁴	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K	—	4.88 ×10 ⁶	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ca	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sc	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ti	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V	—	—	1.13 ×10 ⁰	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	—	—	4.57 ×10 ³	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	—	—	5.97 ×10 ⁷	9.45 ×10 ¹	—	—	—	—	—	—	—
Fe	—	—	2.14 ×10 ⁹	2.34 ×10 ⁴	—	—	—	—	—	—	—
Co	—	—	4.87 ×10 ¹²	5.29 ×10 ⁸	—	—	—	—	—	—	—
Ni	—	—	4.53 ×10 ¹⁰	1.94 ×10 ¹⁰	—	—	—	—	—	—	—
Cu	—	—	4.84 ×10 ⁸	3.04 ×10 ⁹	—	—	—	—	—	—	—
Zn	—	—	2.01 ×10 ¹	3.07 ×10 ⁵	—	—	—	—	—	—	—
Ga	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ge	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Se	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Br	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kr	—	—	—	—	2.51 ×10 ⁰	—	—	—	—	—	—
Rb	—	—	—	—	5.14 ×10 ³	—	—	—	—	—	—
Sr	—	—	—	—	5.98 ×10 ³	—	—	—	—	—	—
Y	—	—	—	—	1.34 ×10 ⁴	—	—	—	—	—	—
Zr	—	—	—	—	2.41 ×10 ⁴	8.64 ×10 ⁰	4.57 ×10 ²	—	—	—	—
Nb	—	—	—	—	2.61 ×10 ²	3.94 ×10 ⁸	1.65 ×10 ²	—	—	—	—
Mo	—	—	—	—	1.88 ×10 ¹	1.60 ×10 ⁴	5.33 ×10 ⁵	—	—	—	—
Ru	—	—	—	—	—	4.47 ×10 ¹	—	—	—	—	—
Rh	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
In	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Te	—	—	—	—	—	—	—	3.49 ×10 ⁴	3.84 ×10 ⁴	—	—
I	—	—	—	—	—	—	—	4.80 ×10 ³	6.60 ×10 ⁴	—	—
Xe	—	—	—	—	—	—	—	—	1.94 ×10 ⁹	—	—
Cs	—	—	—	—	—	—	—	—	6.16 ×10 ⁸	—	—
Ba	—	—	—	—	—	—	—	—	1.71 ×10 ⁵	—	—
La	—	—	—	—	—	—	—	—	9.66 ×10 ²	—	—
Ce	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pr	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Eu	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Dy	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ho	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Er	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Yb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lu	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hf	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ta	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Re	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Os	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ir	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pt	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Au	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Th	—	—	—	—	5.77 ×10 ¹⁰	—	1.88 ×10 ⁶	2.04 ×10 ⁴	5.77 ×10 ¹⁰	1.92 ×10 ⁴	1.10 ×10 ⁹
U	—	—	—	—	9.35 ×10 ⁹	—	1.27 ×10 ⁶	8.29 ×10 ³	2.85 ×10 ¹⁰	2.41 ×10 ³	1.22 ×10 ¹⁰
合計	1.04 ×10 ¹⁰	6.04 ×10 ⁸	4.92 ×10 ¹²	2.30 ×10 ¹⁰	6.70 ×10 ¹⁰	3.94 ×10 ⁸	3.68 ×10 ⁶	6.84 ×10 ⁴	8.87 ×10 ¹⁰	2.16 ×10 ⁴	1.33 ×10 ¹⁰

注1 上記は、一次スクリーニング実施後の元素（安定同位体核種が存在する元素）に対して放射化計算を実施した結果である。
 注2 放射化計算条件は、計算コード：ORIGEN2.2、断面積ライブラリ：PWR41J33、照射時間：30y、中性子フルエンス率：4.72×10¹⁴cm⁻²/s、元素量：各元素とも等量（0.001kg）
 注3 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）。
 注⁴ 1次SLは、“一次スクリーニング”を意味する。

附属書 G 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)

三次スクリーニング対象元素	スラグとして除去	低沸点による揮発	希ガス	希少元素	還元性雰囲気による除去	用途が限定される
	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のスラグとして大半は除去。	高炉の温度が2000°C近くとなることを考慮すると、飢渴する可能性が高い(括弧内は沸点)。	岩石・鉱物に微量含まれるが、希ガスが不純物として金属に混入する可能性は、低い。	希少性が高く、不純物として金属に混入する可能性は、低い。	高炉における還元性雰囲気によって、精錬直前で除去。ただし、酸素を吹付けて脱炭する場合もある。	特定の用途に利用する場合だけに含まれる(括弧内は、利用される場合の主な用途)。
O ^{a)}	—	—	—	—	○	—
F	—	—	—	—	—	○ (フッ素コーティング)
Ne	—	—	○	—	—	—
Ar	—	—	○	—	—	—
Kr	—	—	○	—	—	—
Rb	—	○ (696°C)	—	—	—	○ (レビジウム原子時計)
Sr	○	○ (1639°C)	—	—	—	—
Y	○	—	—	—	—	—
Ru	—	—	—	○	—	○ (水素化触媒)
Sb	○	○ (1640°C)	—	—	—	—
Te	○	○ (1390°C)	—	—	—	—
I	—	—	—	—	—	○ (抗菌処理)
Xe	—	—	○	—	—	—
Cs	○	○ (760°C)	—	—	—	—
Ba	○	○ (1537°C)	—	—	—	—
La	○	—	—	—	—	—

注記 “○”は、金属に対する三次スクリーニングが可能と考えられる対象元素を示す。
注^{a)} 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。

附属書 G 表 G.6—起源元素の推定存在濃度レベル例（オーダー）

＜ZrTN804D＞						
元素	分析データ ^{a)}		文献データ ^{b)}		成分管理目標値 (質量分率%) (JIS H 4751 ^[3])	推定存在濃度 レベル (質量分率%)
	データ数	平均値 (質量分率%)	データ数	平均値 (質量分率%)		
C	16 (0)	1.6×10^{-2}	4 (2)	1.0×10^{-2}	≤ 0.027	1.0×10^{-2}
N	21 (0)	3.2×10^{-3}	10 (1)	3.2×10^{-3}	≤ 0.008	5.0×10^{-3}
O	5 (0)	1.3×10^{-1}	5 (0)	1.1×10^{-1}	—	1.0×10^{-1}
Na	0 (0)	—	0 (0)	—	—	1.0×10^0
S	0 (0)	—	1 (0)	3.5×10^{-3}	—	5.0×10^{-3}
Cl	0 (21)	(5.0×10^{-4})	0 (0)	—	—	5.0×10^{-4}
K	0 (4)	(1.0×10^{-4})	0 (0)	—	—	1.0×10^{-4}
V	0 (0)	—	2 (0)	2.4×10^{-3}	—	1.0×10^{-3}
Cr	0 (0)	—	18 (0)	1.1×10^{-1}	0.07 ~ 0.13	1.0×10^{-1}
Mn	0 (0)	—	5 (1)	1.0×10^{-3}	≤ 0.005	1.0×10^{-3}
Fe	5 (0)	2.1×10^{-1}	18 (0)	2.1×10^{-1}	0.18 ~ 0.24	1.0×10^{-1}
Co	0 (21)	(7.6×10^{-4})	5 (0)	4.7×10^{-4}	≤ 0.002	5.0×10^{-4}
Ni	11 (10)	4.2×10^{-3}	3 (1)	3.5×10^{-3}	≤ 0.007	5.0×10^{-3}
Cu	0 (0)	—	3 (0)	1.7×10^{-3}	≤ 0.005	1.0×10^{-3}
Zn	0 (0)	—	0 (0)	—	—	1.0×10^{-2}
Zr	16 (0)	9.8×10^1	1 (0)	9.8×10^1	残部	9.8×10^1
Nb	0 (21)	(3.9×10^{-3})	1 (0)	1.2×10^{-2}	≤ 0.010	5.0×10^{-3}
Mo	0 (21)	7.6×10^{-4}	1 (1)	2.0×10^{-3}	≤ 0.005	1.0×10^{-3}
Th	0 (16)	(1.0×10^{-5})	0 (0)	—	—	1.0×10^{-5}
U	1 (20)	(8.1×10^{-5})	2 (0)	3.5×10^{-5}	$\leq 3.5E-04$	5.0×10^{-5}
SUS304						
元素	分析データ ^{a)}		文献データ ^{b)}		成分管理目標値 (質量分率%) (JIS G 4305 ^[4])	推定存在濃度 レベル (質量分率%)
	データ数	平均値 (質量分率%)	データ数	平均値 (質量分率%)		
C	21 (0)	4.9×10^{-2}	13 (3)	5.9×10^{-2}	≤ 0.08	5.0×10^{-2}
N	21 (0)	4.6×10^{-2}	5 (0)	6.9×10^{-2}	—	5.0×10^{-2}
Na	0 (0)	—	1 (0)	9.7×10^{-4}	—	1.0×10^{-3}
S	9 (0)	3.9×10^{-3}	11 (3)	1.6×10^{-2}	≤ 0.03	1.0×10^{-2}
Cl	0 (9)	(7.3×10^{-4})	1 (0)	7.0×10^{-3}	—	1.0×10^{-3}
K	0 (4)	(1.0×10^{-4})	0 (1)	(3.0×10^{-4})	—	1.0×10^{-4}
V	0 (0)	—	1 (0)	4.6×10^{-2}	—	5.0×10^{-2}
Cr	9 (0)	1.8×10^1	18 (0)	1.9×10^1	18.00 ~ 20.00	2.0×10^1
Mn	9 (0)	1.5×10^0	11 (5)	1.3×10^0	≤ 2.00	1.0×10^0
Fe	9 (0)	7.2×10^1	4 (0)	7.0×10^1	—	7.0×10^1
Co	21 (0)	1.2×10^{-1}	3 (0)	7.7×10^{-2}	—	1.0×10^{-1}
Ni	21 (0)	8.7×10^0	18 (0)	9.4×10^0	8.00 ~ 10.50	1.0×10^1
Cu	0 (0)	—	5 (0)	1.8×10^{-1}	—	1.0×10^{-1}
Zn	0 (0)	—	1 (0)	4.6×10^{-2}	—	5.0×10^{-2}
Zr	5 (7)	2.8×10^{-4}	1 (0)	1.0×10^{-3}	—	5.0×10^{-4}
Nb	15 (0)	2.0×10^{-2}	2 (0)	9.5×10^{-3}	—	1.0×10^{-2}
Mo	15 (6)	1.6×10^{-1}	5 (0)	1.8×10^{-1}	—	1.0×10^{-1}
Th	0 (9)	(5.0×10^{-7})	0 (1)	(1.0×10^{-4})	—	1.0×10^{-7}
U	0 (9)	(5.0×10^{-7})	0 (1)	(2.0×10^{-4})	—	1.0×10^{-7}

注記1 上記は、分析データ及び文献データの平均値から、各元素の推定存在濃度（オーダー）を評価した結果である。

注記2 データ数は、検出値のデータ数と、その横に括弧書きで検出限界以下のデータ数も合わせて記載した。

注記3 平均値は、検出データの平均値を記載した。ただし、検出限界データしか存在しない元素は、括弧書きで検出限界データの平均値を記載した（ZrTN804DのUは検出データ+検出限界データの平均値を括弧書きで記載した）。

注記4 存在濃度レベルの推定が困難な元素（ZrTN804DのNa, Zn）は、地殻存在割合^[29]を利用して推定存在濃度レベルを評価した。

注^{a)} 分析データ：放射化計算条件を設定するために事業者が評価対象廃棄物（材料）中の元素分析を実施した結果^[2]

注^{b)} 文献データ：一般公開文献情報^{[5]~[28]}

表 I.3-各元素の元素分析データ収集結果 (ZrTN804D)

元素	元素分析データ ¹⁾							X線データ ²⁾							成分管理目標値 (JIS H 4751 ³⁾) (質量分率%)
	データ数	対数正規分布		正規分布(実数)		一様分布		データ数	対数正規分布		正規分布(実数)		一様分布		
		平均値 (質量分率%)	標準偏差 (質量分率%)	平均値 (質量分率%)	標準偏差 (質量分率%)	最小値 (質量分率%)	最大値 (質量分率%)		平均値 (質量分率%)	標準偏差 (質量分率%)	平均値 (質量分率%)	標準偏差 (質量分率%)	最小値 (質量分率%)	最大値 (質量分率%)	
N	21 (0)	3.1 × 10 ⁻³ (-2.5)	3.7 × 10 ⁻⁴ (0.08)	3.2 × 10 ⁻³	5.2 × 10 ⁻⁴	2.2 × 10 ⁻⁶	4.1 × 10 ⁻⁸	10 (1)	2.8 × 10 ⁻³ (-2.6)	4.5 × 10 ⁻⁴ (0.22)	3.2 × 10 ⁻³	2.0 × 10 ⁻⁴	1.4 × 10 ⁻⁵	8.0 × 10 ⁻⁴	≦ 0.008 (不純物)
O	5 (0)	1.3 × 10 ⁻¹ (-0.9)	1.4 × 10 ⁻¹ (0.01)	1.3 × 10 ⁻¹	3.7 × 10 ⁻²	1.3 × 10 ⁻¹	1.4 × 10 ⁻¹	5 (0)	1.1 × 10 ⁻¹ (-0.9)	1.3 × 10 ⁻¹ (0.05)	1.1 × 10 ⁻¹	1.3 × 10 ⁻²	9.5 × 10 ⁻²	1.3 × 10 ⁻¹	-
S	0 (0)	-	-	-	-	-	-	1 (0)	3.5 × 10 ⁻³ (-2.5)	-	3.5 × 10 ⁻³	-	-	-	-
Cl	0 (21)	5.0 × 10 ⁻⁴ (-3.3)	-	5.0 × 10 ⁻⁴	-	5.0 × 10 ⁻⁴	5.0 × 10 ⁻⁴	0 (0)	-	-	-	-	-	-	-
K	0 (4)	1.0 × 10 ⁻⁴ (-4.0)	-	1.0 × 10 ⁻⁴	-	1.0 × 10 ⁻⁴	1.0 × 10 ⁻⁴	0 (0)	-	-	-	-	-	-	-
Fe	5 (0)	2.1 × 10 ⁻² (-0.7)	2.2 × 10 ⁻² (0.01)	2.1 × 10 ⁻²	5.5 × 10 ⁻³	2.1 × 10 ⁻²	2.2 × 10 ⁻²	18 (0)	2.1 × 10 ⁻² (-0.7)	2.2 × 10 ⁻² (0.03)	2.1 × 10 ⁻²	1.3 × 10 ⁻²	1.8 × 10 ⁻²	2.4 × 10 ⁻²	0.18 ~ 0.24
Co	0 (21)	3.3 × 10 ⁻⁴ (-3.5)	-	7.6 × 10 ⁻⁴	-	1.0 × 10 ⁻⁶	1.0 × 10 ⁻⁸	5 (0)	2.8 × 10 ⁻⁴ (-3.5)	9.0 × 10 ⁻⁴ (0.50)	4.7 × 10 ⁻⁴	4.8 × 10 ⁻⁴	1.1 × 10 ⁻⁴	1.0 × 10 ⁻³	≦ 0.002 (不純物)
Ni	11 (10)	4.2 × 10 ⁻³ (-2.4)	4.5 × 10 ⁻³ (0.04)	4.2 × 10 ⁻³	3.4 × 10 ⁻⁴	3.5 × 10 ⁻³	4.8 × 10 ⁻³	3 (1)	3.2 × 10 ⁻³ (-2.5)	5.1 × 10 ⁻³ (0.20)	3.5 × 10 ⁻³	1.5 × 10 ⁻³	2.0 × 10 ⁻³	5.0 × 10 ⁻³	≦ 0.007 (不純物)
Cu	0 (0)	-	-	-	-	-	-	3 (0)	1.6 × 10 ⁻³ (-2.8)	2.4 × 10 ⁻³ (0.17)	1.7 × 10 ⁻³	5.8 × 10 ⁻⁴	1.0 × 10 ⁻³	2.0 × 10 ⁻³	≦ 0.005 (不純物)
Zr	16 (0)	9.8 × 10 ¹ (2.0)	-	9.8 × 10 ¹	-	9.8 × 10 ¹	9.8 × 10 ¹	1 (0)	9.8 × 10 ¹ (2.0)	-	9.8 × 10 ¹	-	-	-	規格
Nb	0 (21)	2.9 × 10 ⁻³ (-2.5)	-	3.9 × 10 ⁻³	-	5.0 × 10 ⁻⁴	5.0 × 10 ⁻⁴	1 (0)	1.2 × 10 ⁻² (-1.9)	-	1.2 × 10 ⁻²	-	-	-	≦ 0.010 (不純物)
Mo	0 (21)	3.3 × 10 ⁻⁴ (-3.5)	-	7.6 × 10 ⁻⁴	-	1.0 × 10 ⁻⁶	1.0 × 10 ⁻⁸	1 (1)	2.0 × 10 ⁻³ (-2.7)	-	2.0 × 10 ⁻³	-	-	-	≦ 0.005 (不純物)
Th	0 (16)	1.0 × 10 ⁻³ (-5.0)	-	1.0 × 10 ⁻³	-	1.0 × 10 ⁻⁶	1.0 × 10 ⁻⁸	0 (0)	-	-	-	-	-	-	-
U	1 (20)	2.0 × 10 ⁻⁴ (-3.7)	-	8.1 × 10 ⁻⁵	-	-	-	2 (0)	3.2 × 10 ⁻³ (-4.5)	-	3.5 × 10 ⁻³	-	2.0 × 10 ⁻³	5.0 × 10 ⁻³	≦ 3.5E-04 (不純物)

注1) 上記は、元素分析データ及びX線データの平均値、標準偏差などを併記した結果である。また、集計結果のうち、対数正規分布の標準偏差は、平均値+1σで表示し、下限(括弧内)に対数値を合わせて表記した。
 注2) データ数は、検出値のデータ数と、その欄に括弧書きで検出下限値データ数も合わせて記載した。
 注3) 平均値、標準偏差などの集計結果のうち、括弧書きは、検出下限値データで集計した結果を意味する(ただし、括弧書きがない場合は、検出値データだけで集計した結果である)。
 注4) データ数が未測の元素は、標準偏差の欄を“-”とした。また、データ数が1点の元素は、一様分布の欄を“-”とした。
 注5) 元素分析データ：放射化学計算条件を設定するために事業者が評価対象廃棄物(材料)中の元素の化学分析を実施した結果²⁾
 注6) X線データ：一般公開文書情報²⁾

表 I.9-ZrTN804Dの各元素の濃度分布条件設定結果

元素	濃度分布の設定		濃度分布条件の設定結果									
	成分 管理条件	濃度分布基本形状		収集データ			対数正規分布		正規分布		一様分布	
		選択	設定	分析	文献	データ数	平均値 (質量分率%)	標準偏差 (平均+1σ) (質量分率%)	平均値 (質量分率%)	標準偏差 (質量分率%)	最小値 (質量分率%)	最大値 (質量分率%)
N	不純物成分	対数正規分布	→	○	-	比較的少	3.2 × 10 ⁻³ (-2.5)	5.0 × 10 ⁻⁴ (0.2)	-	-	-	-
O	微量成分	対数正規分布	→	○	-	比較的少	1.6 × 10 ⁻¹ (-0.8)	2.0 × 10 ⁻¹ (0.1)	-	-	-	-
S	微量成分	対数正規分布	→	-	○	非常に少	4.0 × 10 ⁻³ (-2.4)	1.3 × 10 ⁻² (0.5)	-	-	-	-
Cl	微量成分	対数正規分布	→	○	-	ND値だけ	2.0 × 10 ⁻⁴ (-3.7)	3.2 × 10 ⁻⁴ (0.2)	-	-	-	-
K	微量成分	対数正規分布	→	○	-	ND値だけ	4.0 × 10 ⁻⁵ (-4.4)	6.3 × 10 ⁻⁵ (0.2)	-	-	-	-
Fe	主成分	一様分布	→	○	-	比較的少	-	-	-	-	0.18	0.24
Co	不純物成分	対数正規分布	→	○	-	ND値だけ	4.0 × 10 ⁻⁴ (-3.4)	6.3 × 10 ⁻⁴ (0.2)	-	-	-	-
Ni	不純物成分	対数正規分布	正規分布	○	-	比較的少	-	-	5 × 10 ⁻³	7 × 10 ⁻⁴	-	-
Cu	不純物成分	対数正規分布	正規分布	-	○	比較的少	-	-	2 × 10 ⁻³	6 × 10 ⁻⁴	-	-
Zr	主成分	一様分布	→	○	-	比較的少	-	-	-	-	98	100
Nb	不純物成分	対数正規分布	→	○	-	ND値だけ	2.0 × 10 ⁻³ (-2.7)	3.2 × 10 ⁻³ (0.2)	-	-	-	-
Mo	不純物成分	対数正規分布	→	○	-	ND値だけ	4.0 × 10 ⁻⁴ (-3.4)	6.3 × 10 ⁻⁴ (0.2)	-	-	-	-
Th	微量成分	対数正規分布	→	○	-	ND値だけ	4.0 × 10 ⁻⁴ (-5.4)	6.3 × 10 ⁻⁴ (0.2)	-	-	-	-
U	不純物成分	対数正規分布	→	○	-	非常に少	2.5 × 10 ⁻⁴ (-3.6)	7.9 × 10 ⁻⁴ (0.5)	-	-	-	-

注1) 収集データの分析及び文献は、“分析”放射化学計算条件を設定するために事業者が評価対象廃棄物(材料)中の元素の化学分析を実施した結果²⁾、“文献”一般公開文書情報²⁾を意味する。
 注2) 収集データのデータ数は、濃度分布条件設定の観点から、“比較的少”：元素成分データ数が比較的少ない元素、“非常に少”：元素成分データ数が非常に少ない元素、“ND値だけ”：元素成分データに検出下限値(ND値)しかない元素”で区分した。
 注3) 対数正規分布の標準偏差は、平均値+標準偏差(1σ)で表示した。また、対数正規分布の括弧書き(下限)には、平均値+標準偏差(1σの値)の対数表示値を示した。
 注4) 平均値及び標準偏差は、有効数字3桁目(ただし、対数正規分布の場合は、対数値の有効数字3桁目)を切り上げて設定した。

附属書 G 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を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。

附属書 G 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

	燃焼度の実態調査	設定頻度分布	中性子照射時間の設定条件 ^{a)}
中性子照射 時間の条件	約 13 000 体の燃料集合体 (すなわち、付随するチャンネルボックス) の燃焼度の実態調査結果を踏まえ、次の実態分布が評価された。 燃焼度 : 正規分布	正規分布	平均値=1 786 日 標準偏差=654 日

注^{a)} 中性子照射時間の設定条件は、燃料集合体の燃焼度 (実績) に基づき比出力を踏まえて算出した。なお、比出力にはプラントの設置許可申請書記載値の最小値を利用した。

表 I.21-ZrTN804D の放射化計算結果 (BWR チャンネルボックスの本体)

単位: Bec

計算 No.	¹⁴ C	³⁶ Cl	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	⁹⁴ Nb	⁹⁹ Tc	¹²⁹ I	¹³⁷ Cs	²³⁹ Np
1	1.68 ×10 ¹¹	6.95 ×10 ⁸	2.16 ×10 ¹³	4.47 ×10 ¹¹	1.74 ×10 ⁹	3.09 ×10 ⁹	2.00 ×10 ⁷	7.09 ×10 ³	1.95 ×10 ⁹	1.16 ×10 ³
2	1.14 ×10 ¹¹	3.16 ×10 ⁸	2.86 ×10 ¹³	2.72 ×10 ¹¹	6.90 ×10 ⁹	1.47 ×10 ⁹	1.71 ×10 ⁷	4.77 ×10 ³	1.46 ×10 ¹⁰	1.52 ×10 ⁴
3	3.80 ×10 ¹⁰	2.52 ×10 ⁸	2.01 ×10 ¹³	2.16 ×10 ¹¹	1.96 ×10 ¹⁰	1.36 ×10 ⁹	2.09 ×10 ⁷	1.46 ×10 ⁴	4.43 ×10 ¹⁰	5.22 ×10 ⁴
4	7.37 ×10 ¹⁰	3.00 ×10 ⁸	2.49 ×10 ¹³	2.68 ×10 ¹¹	8.73 ×10 ⁹	2.17 ×10 ⁹	7.58 ×10 ⁶	5.98 ×10 ³	1.79 ×10 ¹⁰	1.93 ×10 ⁴
5	4.66 ×10 ¹⁰	2.46 ×10 ⁸	8.33 ×10 ¹²	2.03 ×10 ¹¹	5.24 ×10 ⁹	1.98 ×10 ⁹	4.99 ×10 ⁶	3.38 ×10 ³	1.02 ×10 ¹⁰	1.14 ×10 ⁴
6	3.95 ×10 ¹⁰	2.19 ×10 ⁸	1.24 ×10 ¹³	1.49 ×10 ¹¹	1.06 ×10 ¹⁰	2.45 ×10 ⁹	1.33 ×10 ⁷	8.06 ×10 ³	2.29 ×10 ¹⁰	3.22 ×10 ⁴
7	3.77 ×10 ⁹	1.59 ×10 ⁷	1.88 ×10 ¹²	1.67 ×10 ¹⁰	1.82 ×10 ⁹	8.15 ×10 ⁷	1.17 ×10 ⁶	5.31 ×10 ²	2.34 ×10 ⁹	4.01 ×10 ³
8	4.31 ×10 ⁹	5.99 ×10 ⁷	2.97 ×10 ¹²	4.05 ×10 ¹⁰	6.97 ×10 ⁸	3.38 ×10 ⁸	1.44 ×10 ⁶	2.92 ×10 ²	1.02 ×10 ⁹	1.74 ×10 ³
9	1.46 ×10 ¹⁰	6.51 ×10 ⁷	6.97 ×10 ¹²	5.13 ×10 ¹⁰	1.67 ×10 ¹⁰	2.94 ×10 ⁸	4.99 ×10 ⁶	7.18 ×10 ³	2.51 ×10 ¹⁰	2.88 ×10 ⁴
10	7.34 ×10 ¹⁰	1.23 ×10 ⁸	3.83 ×10 ¹³	2.29 ×10 ¹¹	2.35 ×10 ⁹	3.43 ×10 ⁹	2.50 ×10 ⁷	1.11 ×10 ³	3.11 ×10 ⁹	2.89 ×10 ³
11	1.17 ×10 ¹⁰	8.48 ×10 ⁷	4.43 ×10 ¹²	6.45 ×10 ¹⁰	6.69 ×10 ⁸	7.31 ×10 ⁸	6.82 ×10 ⁵	2.93 ×10 ²	9.89 ×10 ⁸	1.15 ×10 ³
12	3.81 ×10 ¹⁰	3.70 ×10 ⁸	1.85 ×10 ¹³	1.39 ×10 ¹¹	1.84 ×10 ⁹	7.42 ×10 ⁸	1.19 ×10 ⁷	9.98 ×10 ³	3.02 ×10 ⁹	4.30 ×10 ³
13	1.18 ×10 ¹¹	3.25 ×10 ⁸	1.37 ×10 ¹³	2.98 ×10 ¹¹	3.91 ×10 ⁹	3.27 ×10 ⁹	1.96 ×10 ⁷	2.51 ×10 ³	7.16 ×10 ⁹	7.39 ×10 ³
14	2.55 ×10 ¹⁰	2.42 ×10 ⁸	2.20 ×10 ¹³	1.41 ×10 ¹¹	2.28 ×10 ⁹	1.91 ×10 ⁹	8.61 ×10 ⁶	1.37 ×10 ³	3.96 ×10 ⁹	5.21 ×10 ³
15	8.63 ×10 ⁹	6.92 ×10 ⁷	1.31 ×10 ¹³	4.62 ×10 ¹⁰	2.62 ×10 ⁸	1.57 ×10 ⁸	2.78 ×10 ⁵	9.20 ×10 ¹	3.42 ×10 ⁹	2.06 ×10 ²
16	1.42 ×10 ¹¹	4.27 ×10 ⁸	10.00 ×10 ¹²	3.52 ×10 ¹¹	9.76 ×10 ⁹	4.50 ×10 ⁹	2.28 ×10 ⁷	7.42 ×10 ³	2.16 ×10 ¹⁰	2.01 ×10 ⁴
17	6.99 ×10 ¹⁰	4.75 ×10 ⁸	2.16 ×10 ¹³	1.62 ×10 ¹¹	8.58 ×10 ⁹	2.98 ×10 ⁹	1.20 ×10 ⁷	5.47 ×10 ³	1.68 ×10 ¹⁰	2.42 ×10 ⁴
18	3.26 ×10 ¹⁰	2.42 ×10 ⁸	1.70 ×10 ¹³	2.62 ×10 ¹¹	7.16 ×10 ⁹	2.30 ×10 ⁹	1.19 ×10 ⁷	5.07 ×10 ³	1.50 ×10 ¹⁰	1.57 ×10 ⁴
19	1.65 ×10 ¹⁰	1.17 ×10 ⁸	1.23 ×10 ¹³	7.30 ×10 ¹⁰	3.54 ×10 ⁹	1.36 ×10 ⁹	4.53 ×10 ⁶	1.93 ×10 ³	6.23 ×10 ⁹	9.66 ×10 ³
20	7.10 ×10 ¹⁰	3.30 ×10 ⁸	2.46 ×10 ¹³	2.75 ×10 ¹¹	1.75 ×10 ¹⁰	2.90 ×10 ⁹	1.90 ×10 ⁷	1.38 ×10 ⁴	4.08 ×10 ¹⁰	3.90 ×10 ⁴
21	1.00 ×10 ¹¹	2.30 ×10 ⁸	1.98 ×10 ¹³	2.79 ×10 ¹¹	3.31 ×10 ¹⁰	3.07 ×10 ⁹	3.23 ×10 ⁷	2.60 ×10 ⁴	7.76 ×10 ¹⁰	8.58 ×10 ⁴
22	6.23 ×10 ⁸	7.05 ×10 ⁶	8.42 ×10 ¹¹	5.11 ×10 ⁹	2.05 ×10 ⁸	2.08 ×10 ⁷	5.43 ×10 ⁴	4.47 ×10 ¹	2.22 ×10 ⁸	1.26 ×10 ²
23	5.41 ×10 ¹⁰	1.66 ×10 ⁸	6.33 ×10 ¹²	1.09 ×10 ¹¹	1.07 ×10 ⁹	6.25 ×10 ⁸	1.91 ×10 ⁶	5.72 ×10 ²	1.72 ×10 ⁹	2.12 ×10 ³
24	1.50 ×10 ¹¹	5.91 ×10 ⁸	4.33 ×10 ¹³	3.87 ×10 ¹¹	1.76 ×10 ¹⁰	2.16 ×10 ⁹	2.90 ×10 ⁷	1.38 ×10 ⁴	4.13 ×10 ¹⁰	3.75 ×10 ⁴
25	5.39 ×10 ⁹	1.46 ×10 ⁸	3.45 ×10 ¹²	5.27 ×10 ¹⁰	1.23 ×10 ⁹	5.93 ×10 ⁸	9.51 ×10 ⁵	5.05 ×10 ²	1.79 ×10 ⁹	2.14 ×10 ³
26	6.61 ×10 ¹⁰	2.26 ×10 ⁸	4.30 ×10 ¹³	3.30 ×10 ¹¹	7.53 ×10 ⁹	4.54 ×10 ⁹	2.54 ×10 ⁷	5.28 ×10 ³	1.52 ×10 ¹⁰	1.44 ×10 ⁴
27	5.16 ×10 ¹⁰	8.60 ×10 ⁸	4.22 ×10 ¹³	2.93 ×10 ¹¹	6.89 ×10 ⁹	1.21 ×10 ⁹	1.83 ×10 ⁷	4.95 ×10 ³	1.46 ×10 ¹⁰	1.51 ×10 ⁴
28	8.90 ×10 ¹⁰	4.84 ×10 ⁸	1.69 ×10 ¹³	2.27 ×10 ¹¹	6.72 ×10 ⁹	2.53 ×10 ⁹	9.38 ×10 ⁶	4.44 ×10 ³	1.39 ×10 ¹⁰	1.45 ×10 ⁴
29	3.07 ×10 ⁹	3.30 ×10 ⁷	2.82 ×10 ¹²	1.70 ×10 ¹⁰	3.00 ×10 ⁸	2.06 ×10 ⁸	1.14 ×10 ⁵	8.63 ×10 ¹	3.56 ×10 ⁸	2.49 ×10 ²
30	7.64 ×10 ¹⁰	2.46 ×10 ⁸	1.66 ×10 ¹³	2.35 ×10 ¹¹	7.51 ×10 ⁹	1.14 ×10 ⁹	7.78 ×10 ⁶	5.11 ×10 ³	1.59 ×10 ¹⁰	1.72 ×10 ⁴
31	1.05 ×10 ¹⁰	5.41 ×10 ⁷	5.39 ×10 ¹²	3.97 ×10 ¹⁰	2.03 ×10 ⁹	3.32 ×10 ⁸	1.10 ×10 ⁶	9.51 ×10 ²	3.11 ×10 ⁹	5.66 ×10 ³
32	1.58 ×10 ¹¹	5.45 ×10 ⁸	4.02 ×10 ¹³	4.63 ×10 ¹¹	1.37 ×10 ¹⁰	6.13 ×10 ⁹	2.80 ×10 ⁷	1.01 ×10 ⁴	3.02 ×10 ¹⁰	1.83 ×10 ⁴
33	1.99 ×10 ⁹	1.90 ×10 ⁷	4.74 ×10 ¹¹	1.24 ×10 ¹⁰	8.46 ×10 ⁷	2.93 ×10 ⁷	1.09 ×10 ⁵	2.19 ×10 ¹	9.54 ×10 ⁷	4.79 ×10 ¹
34	4.42 ×10 ¹⁰	4.18 ×10 ⁸	2.05 ×10 ¹³	1.88 ×10 ¹¹	1.12 ×10 ⁹	2.32 ×10 ⁹	6.19 ×10 ⁶	5.17 ×10 ²	1.47 ×10 ⁹	1.72 ×10 ³
35	1.15 ×10 ¹⁰	2.72 ×10 ⁸	1.13 ×10 ¹³	1.82 ×10 ¹¹	1.23 ×10 ⁹	1.58 ×10 ⁹	3.89 ×10 ⁶	5.83 ×10 ²	1.73 ×10 ⁹	1.56 ×10 ³
36	4.64 ×10 ¹⁰	2.21 ×10 ⁸	2.17 ×10 ¹³	1.60 ×10 ¹¹	2.69 ×10 ⁹	1.04 ×10 ⁹	8.81 ×10 ⁶	1.57 ×10 ³	4.83 ×10 ⁹	7.12 ×10 ³
37	9.83 ×10 ⁹	1.28 ×10 ⁹	3.44 ×10 ¹³	1.31 ×10 ¹¹	1.85 ×10 ⁹	6.89 ×10 ⁸	3.71 ×10 ⁶	1.04 ×10 ³	3.25 ×10 ⁹	4.48 ×10 ³
38	3.57 ×10 ¹⁰	2.90 ×10 ⁸	2.43 ×10 ¹³	2.73 ×10 ¹¹	7.61 ×10 ⁹	3.30 ×10 ⁹	1.33 ×10 ⁷	5.62 ×10 ³	1.64 ×10 ¹⁰	1.88 ×10 ⁴
39	9.38 ×10 ¹⁰	1.76 ×10 ⁸	2.20 ×10 ¹³	2.47 ×10 ¹¹	3.22 ×10 ⁹	1.70 ×10 ⁹	7.64 ×10 ⁶	2.12 ×10 ³	6.23 ×10 ⁹	6.11 ×10 ³
40	3.32 ×10 ¹⁰	1.82 ×10 ⁸	1.25 ×10 ¹³	1.51 ×10 ¹¹	1.71 ×10 ⁹	1.82 ×10 ⁹	3.31 ×10 ⁶	9.39 ×10 ²	2.97 ×10 ⁹	3.92 ×10 ³

解説表 3-チャンネルボックス a) の母材に対するクラッドの放射能比 b) [5]

³ H	¹⁴ C	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	¹³⁷ Cs
0.18 %	0.0041 %	0.95 %	0.21 %	0.27 %
<p>注 a) 福島第二発電所 1号機から発生したチャンネルボックス。 b) 放射化学分析等によって得られた単位面積当たりの放射能の比 (クラッドの母材に対する比)。</p>				

【GCR 黒鉛減速材の評価の例】

表 K.3—三次スクリーニング対象元素

三次スクリーニング対象元素	製造時の揮発	希ガス	希少元素	用途が限定される
	黒鉛製造時に原料を2800℃近くまで昇温することによって揮発する可能性が高い元素（括弧内は、沸点）。	岩石・鉱物に微量含まれるが、希ガスが不純物として黒鉛に混入する可能性が低い元素（黒鉛が多孔性のため細孔に含まれる可能性はあるが、原子炉起動時に炭酸ガス雰囲気にて高温精製運転実施によって大半は、除去）。	希少性が高く、不純物として黒鉛に混入する可能性が低い元素。	特定の用途に利用する場合だけ含まれる元素（括弧内は、利用される場合の主な用途）。
F	—	—	—	○ (フッ素コーティング)
Ne	—	○	—	—
Ar	—	○	—	—
Kr	—	○	—	—
Rb	○ (696℃)	—	—	—
Sr	○ (1 639℃)	—	—	—
Y	—	—	—	—
Ru	—	—	○	—
Sb	○ (1 640℃)	—	—	—
Te	○ (1 390℃)	—	—	—
I	○ (185℃)	—	—	○ (抗菌処理)
Xe	—	○	—	—
Cs	○ (760℃)	—	—	—
Ba	○ (1 537℃)	—	—	—

表 K.5—四次スクリーニング評価結果（生成比の評価）

起源元素	評価対象核種に対する各起源元素の生成比 (%)															
	¹⁴ C	³⁶ Cl	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	⁹⁴ Nb	⁹⁹ Tc	¹²⁹ I	¹³⁷ Cs	全α						
C	16.1	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N	83.8	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
O	0.089	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na	3.96×10 ⁻⁹	△	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	0.16	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cl	—	99.8	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K	—	0.081	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V	—	—	7.03×10 ⁻⁹	△	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	—	—	2.84×10 ⁻⁷	△	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	—	—	7.43×10 ⁻⁵	△	4.86×10 ⁻¹⁰	△	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe	—	—	13.3	◎	6.02×10 ⁻⁴	△	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Co	—	—	30.3	◎	0.014	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ni	—	—	56.4	◎	99.8	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cu	—	—	0.0060	△	0.16	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zn	—	—	1.25×10 ⁻⁹	△	7.90×10 ⁻⁵	△	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y	—	—	—	—	—	—	0.013	○	—	—	—	—	—	—	—	—
Zr	—	—	—	—	—	0.0012	△	1.10×10 ⁻⁵	△	0.037	○	—	—	—	—	—
Nb	—	—	—	—	—	2.50×10 ⁻⁶	△	99.96	◎	0.003	△	—	—	—	—	—
Mo	—	—	—	—	—	1.80×10 ⁶	△	0.041	○	86.6	◎	—	—	—	—	—
La	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0048	△	—
Th	—	—	—	—	—	—	55.2	◎	—	3.1	◎	33.0	◎	28.8	◎	1.8
U	—	—	—	—	—	—	44.8	◎	—	10.3	◎	67.0	◎	71.2	◎	98.2
合計	100	—	100	—	100	—	100	—	100	—	100	—	100	—	100	—

注記 1 生成比は、評価対象核種ごとに、各起源元素 0.001 kg 当たりの生成量 (Bq) (表 K.2) に推定存在濃度 (%) (表 K.4) を乗じたものである。

注記 2 生成比の右欄は、生成比の程度を、“◎ : 0.1%以上”, “○ : 0.01%以上”, “△ : 0.01%未満” で示した。

表 K.7—各元素の元素分析データ収集結果

元素	元素分析データ						
	データ数	対数正規分布		正規分布 (実数)		一様分布	
		平均値 ^{a)} (質量分率%)	標準偏差 ^{b)} (平均値+1σ)	平均値 (質量分率%)	標準偏差	最小値	最大値
C	0	—	—	—	—	—	—
N	8	4.1×10 ⁻³ (-2.3)	6.3×10 ⁻³ (0.1)	4.3×10 ⁻³	1.5×10 ⁻³	—	—
O	6	8.2×10 ⁻² (-1.0)	1.3×10 ⁻¹ (0.1)	8.4×10 ⁻²	2.0×10 ⁻²	—	—
S	9	4.1×10 ⁻³ (-2.3)	1.0×10 ⁻² (0.3)	4.8×10 ⁻³	3.4×10 ⁻³	—	—
Cl	9	6.1×10 ⁻⁴ (-3.2)	1.6×10 ⁻³ (0.4)	8.0×10 ⁻⁴	5.7×10 ⁻⁴	—	—
K	6	1.4×10 ⁻⁴ (-3.8)	2.5×10 ⁻⁴ (0.2)	1.5×10 ⁻⁴	6.0×10 ⁻⁵	—	—
Fe	9	9.8×10 ⁻⁴ (-3.0)	4.0×10 ⁻³ (0.6)	2.5×10 ⁻³	4.1×10 ⁻³	—	—
Co	8	5.4×10 ⁻⁶ (-5.2)	1.3×10 ⁻⁵ (0.3)	6.9×10 ⁻⁶	5.2×10 ⁻⁶	—	—
Ni	9	7.3×10 ⁻⁴ (-3.1)	1.6×10 ⁻³ (0.3)	8.5×10 ⁻⁴	5.3×10 ⁻⁴	—	—
Cu	6	1.6×10 ⁻⁵ (-4.7)	6.3×10 ⁻⁵ (0.5)	2.4×10 ⁻⁵	2.0×10 ⁻⁵	—	—
Y	5	6.8×10 ⁻⁷ (-6.1)	4.0×10 ⁻⁶ (0.7)	1.7×10 ⁻⁶	2.3×10 ⁻⁶	—	—
Zr	6	2.6×10 ⁻⁶ (-5.5)	1.6×10 ⁻⁵ (0.7)	6.0×10 ⁻⁶	6.8×10 ⁻⁶	—	—
Nb	6	7.3×10 ⁻⁶ (-6.1)	1.6×10 ⁻⁶ (0.3)	9.4×10 ⁻⁷	7.3×10 ⁻⁷	—	—
Mo	8	1.4×10 ⁻⁵ (-4.8)	2.5×10 ⁻⁵ (0.2)	1.5×10 ⁻⁵	5.7×10 ⁻⁶	—	—
Th	5	1.3×10 ⁻⁷ (-6.8)	6.3×10 ⁻⁷ (0.6)	2.4×10 ⁻⁷	2.3×10 ⁻⁷	—	—
U	7	3.8×10 ⁻⁷ (-6.4)	1.6×10 ⁻⁶ (0.6)	7.4×10 ⁻⁷	8.4×10 ⁻⁷	—	—

注記 1 上記は、元素分析データ及び文献データの平均値、標準偏差などを評価した結果である。集計結果のうち、対数正規分布の標準偏差は“平均値+1σ”で表示し、下段（括弧内）に対数値を合わせて表記

注記 2 データ数が3点以下の元素は、標準偏差の欄を“—”とした。

注 ^{a)} 対数正規分布の平均値のうち、下段の対数値（括弧内）は、有効数字2桁に丸めている（値が大きくなるように切り上げている）。
^{b)} 対数正規分布の標準偏差（上段）は、下段の1σの対数値（括弧内）と平均値の欄の対数値（下段、括弧内の数値）とを利用して算出している。

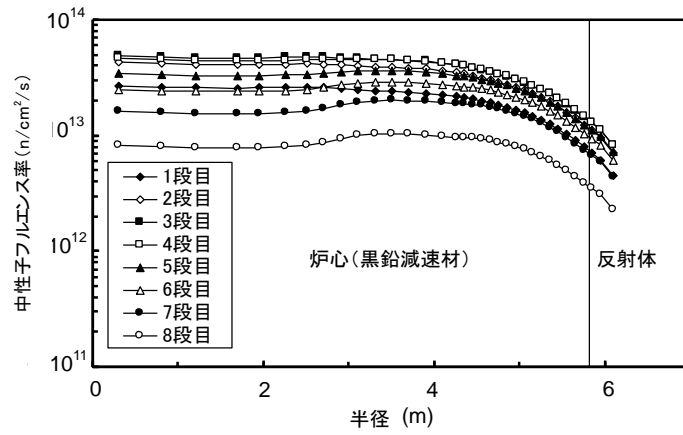


図 F.11 黒鉛減速材の中性子フルエンス率

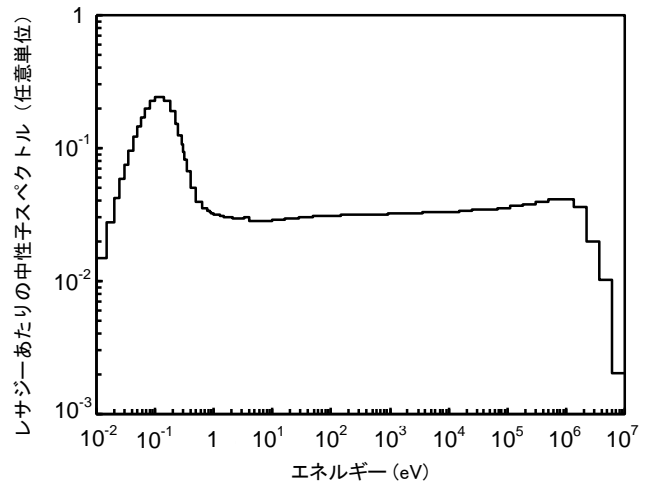


図 F.12 黒鉛減速材部での中性子スペクトル

表 F.4－GCR の運転履歴

運転区分	運転期間	運転日数 (日) ^{a)}	停止日数 (日) ^{b)}
1	昭和40年5月4日～昭和41年7月24日	125	0
2	昭和41年7月25日～昭和41年8月1日	8	1
3	昭和41年8月3日～昭和41年9月8日	37	3
4	昭和41年9月12日～昭和41年10月29日	48	40
5	昭和41年12月9日～昭和42年2月23日	77	3
6	昭和42年2月27日～昭和42年3月10日	12	23
7	昭和42年4月3日～昭和42年4月18日	16	71
8	昭和42年6月29日～昭和42年11月7日	132	2
9	昭和42年11月10日～昭和42年11月18日	9	7
10	昭和42年11月26日～昭和42年12月28日	33	95
11	昭和43年4月2日～昭和43年9月16日	168	63
12	昭和43年11月19日～昭和44年4月26日	159	96
13	昭和44年8月1日～昭和44年10月9日	70	5
14	昭和44年10月15日～昭和45年3月15日	152	85
15	昭和45年6月9日～昭和46年3月31日	296	0
16	昭和46年4月1日～昭和46年4月4日	4	41
17	昭和46年5月16日～昭和46年7月3日	49	1
18	昭和46年7月5日～昭和46年9月23日	81	2
19	昭和46年9月26日～昭和47年5月23日	241	40
20	昭和47年7月3日～昭和47年8月19日	48	5
21	昭和47年8月25日～昭和47年10月15日	52	1
22	昭和47年10月17日～昭和48年6月18日	245	41
23	昭和48年7月30日～昭和49年8月30日	397	42
24	昭和49年10月12日～昭和49年12月5日	55	8
25	昭和49年12月14日～昭和50年9月12日	273	42
26	昭和50年10月25日～昭和51年10月2日	344	43
27	昭和51年11月15日～昭和52年10月1日	321	57
28	昭和52年11月28日～昭和53年10月4日	311	47
29	昭和53年11月21日～昭和54年5月23日	184	48
30	昭和54年7月11日～昭和55年2月3日	208	1
31	昭和55年2月5日～昭和55年3月2日	27	48
32	昭和55年4月20日～昭和56年2月15日	302	45
33	昭和56年4月2日～昭和57年3月10日	343	72
34	昭和57年5月22日～昭和57年12月12日	205	7
35	昭和57年12月20日～昭和58年5月27日	159	57
36	昭和58年7月24日～昭和59年5月2日	284	69
37	昭和59年7月11日～昭和59年9月22日	74	9
38	昭和59年10月2日～昭和60年5月21日	232	67
39	昭和60年7月28日～昭和60年8月9日	13	12
40	昭和60年8月22日～昭和61年8月16日	360	48
41	昭和61年10月4日～昭和61年10月10日	7	22
42	昭和61年11月2日～昭和61年11月25日	24	5
43	昭和61年12月1日～昭和62年4月3日	124	5
44	昭和62年4月9日～昭和62年9月26日	171	117
45	昭和63年1月22日～昭和63年7月1日	162	6
46	昭和63年7月8日～昭和63年12月20日	166	222
47	平成1年7月31日～平成2年2月4日	189	5
48	平成2年2月10日～平成2年9月8日	211	62
49	平成2年11月10日～平成3年3月26日	137	8
50	平成3年4月4日～平成3年5月10日	37	20
51	平成3年5月31日～平成3年11月17日	171	64
52	平成4年1月21日～平成4年9月26日	250	1
53	平成4年9月28日～平成5年3月1日	155	456
54	平成6年6月1日～平成6年7月8日	38	3
55	平成6年7月12日～平成7年8月28日	413	52
56	平成7年10月20日～平成7年10月24日	5	42
57	平成7年12月6日～平成9年1月9日	401	52
58	平成9年3月3日～平成10年3月31日	394	—

注^{a)} 各運転期間の運転開始から終了までの日数を示す。
注^{b)} 次の運転期間までの停止日数を示す。

放射化計算結果の妥当性確認について

放射化計算結果の妥当性確認として、基本的には分析値と計算結果の比較により妥当性を確認しますが、すべて分析値と比較する訳ではなく、計算条件の相違点から条件ごとに結果に与える影響度を評価し、すべての条件による影響が結果に反映されていることの確認の具体例を説明します。

放射化によって生成する核種の放射能は、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、次式のように近似的に表されます。(附属書D参照)

$$A = \sigma \times N \times \Phi \times t \times \lambda$$

ここに、	A	: 評価対象とする放射化金属等の放射能濃度 (Bq/cm ³)
	σ	: 親核種の放射化断面積 (cm ²)
	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/cm ² /s)
	t	: 中性子の照射時間 (s)
	λ	: 生成核種の崩壊定数 (s ⁻¹)

さらに、放射能濃度の減衰は下式で考慮できるため、

$$\exp(-\lambda \times T)$$

ここに、	λ	: 生成核種の崩壊定数 (s ⁻¹)
	T	: 冷却時間 (s)

上記の2式を合わせると、下記のように時間減衰を考慮した放射能濃度が簡易的に評価できます。中性子フルエンス率が同じである場合は、①の差異が②～④の影響度の積と同等であることを確認することで放射化計算結果の妥当性を確認します。

$$\boxed{A} = \sigma \times \boxed{N} \times \Phi \times \boxed{t} \times \lambda \times \boxed{\exp(-\lambda \times T)}$$

① ② ③ ④

表 I.21 に BWR チャンネルボックスの本体の放射化計算結果が示されていますが、この計算 No.13 及び 38 の ⁶⁰Co 放射能濃度を参照して、放射化計算結果の妥当性確認の具体例

を説明します。

表 I.21 における計算 No.13 及び 38 の ^{60}Co 放射能濃度は表 1 のとおりです。計算 No.13 の放射化計算結果は妥当性確認が済んでいるとして、計算 No.38 の放射化計算結果が計算 No.13 の約 1.77 倍 (①に相当) であることが妥当であることを具体例により確認します。

表 1 表 I.21 における計算 No.13 及び 38 の ^{60}Co 放射能濃度 (①に相当)

計算No.	^{60}Co	影響度
13	1.37E+13	-
38	2.43E+13	1.77

この放射化計算条件は表 I.17 の元素成分条件と表 I.18 の中性子条件及び中性子照射条件であります。

表 I.18 における計算 No.13 及び 38 の中性子条件は共通であるため、この計算条件の影響はありません。

表 I.17 における計算 No.13 及び 38 の Co 濃度は表 2 のとおりであり、他に計算条件の相違がなければ、計算 No.38 の放射化計算結果は計算 No.13 の約 1.85 倍 (②に相当) となります。

また、表 I.18 における計算 No.13 及び 38 の全サイクル合計の照射時間は表 3 のとおりであり、他に計算条件の相違がなければ、計算 No.38 の放射化計算結果は計算 No.13 の約 0.887 倍 (③に相当) となります。

さらに、表 I.18 における計算 No.13 及び 38 の全サイクル合計の照射停止時間は表 4 のとおりであり、他に計算条件の相違がなければ、 ^{60}Co の半減期を考慮すると計算 No.38 の放射化計算結果は計算 No.13 の約 1.04 倍 (④に相当) となります。

表 2 表 I.17 における計算 No.13 及び 38 の Co 濃度 (②に相当)

計算No.	Co	影響度
13	2.35E-04	-
38	4.35E-04	1.85

表 3 表 I.18 における計算 No.13 及び 38 の全サイクル合計の照射時間 (③に相当)

計算No.	全サイクル合計の照射時間	影響度
13	2500	-
38	2217	0.887

表4 表I.18における計算 No.13 及び 38 の全サイクル合計の照射停止時間 (④に相当)

計算No.	全サイクル合計の照射停止時間	⁶⁰ Coの半減期を考慮した 照射停止時間における減衰率	影響度
13	1071	0.680	-
38	950	0.710	1.04

表2～表4の影響度をすべて積算すると約1.71 (②③④に相当) であり、表1の影響度の約1.77 (①に相当) と同等であるため、計算 No.38 の放射化計算結果は妥当であると判断します。

以上

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
（案）

2022年6月3日時点版
（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。

○ 「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。

NRA 更問への回答

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

NRA 更問への回答

「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」による相对比较し、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
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、放射能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。 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能を決定します。	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、放射能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。 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能を決定します。	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。 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能を決定します。

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。

NRA 更問への回答

別紙 1 最大放射能濃度の計算の手順の比較の「6.3.1.2 不確かさの扱い」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。

Fe	Ni
----	----

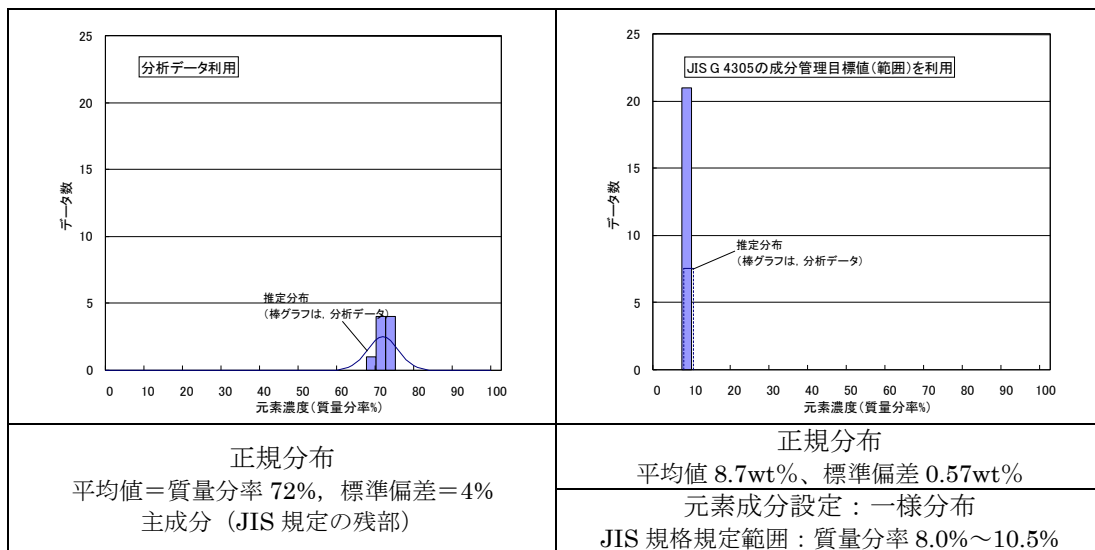


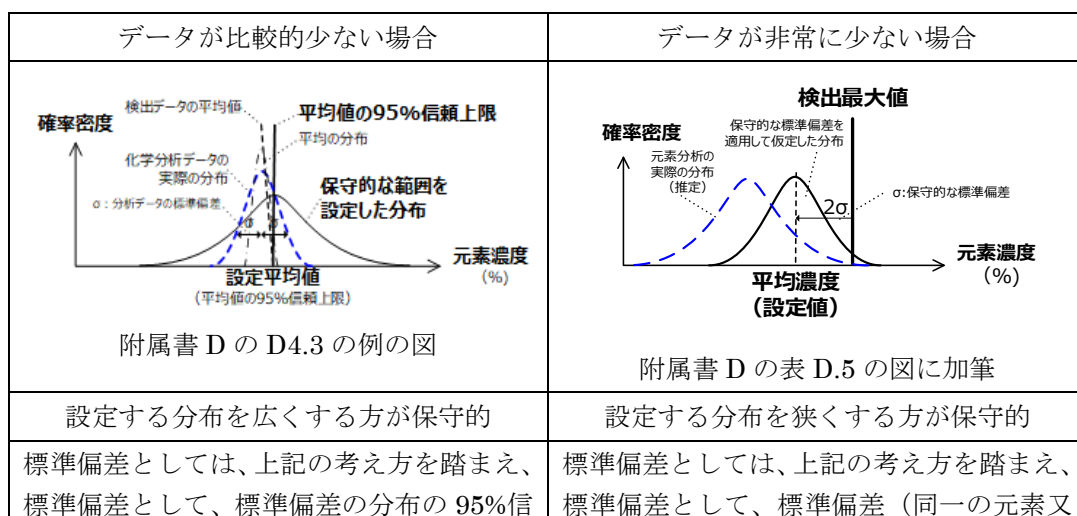
図 I.6—SUS304 の元素分析データ及び濃度分布条件設定結果 (主成分 Fe 及び Ni の抜粋)

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る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を見込み方に関しては、下記の考え方を適用しています。



頼上限値を適用	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
---------	-------------------------------------

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。（過去の分析実績は別紙の P.4 を参照してください。）

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。

1 0. 「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 を使用する際につ

いては、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)

1 2. 「D.6.2.2 中性子の照射時間」

(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。

(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が、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。

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。

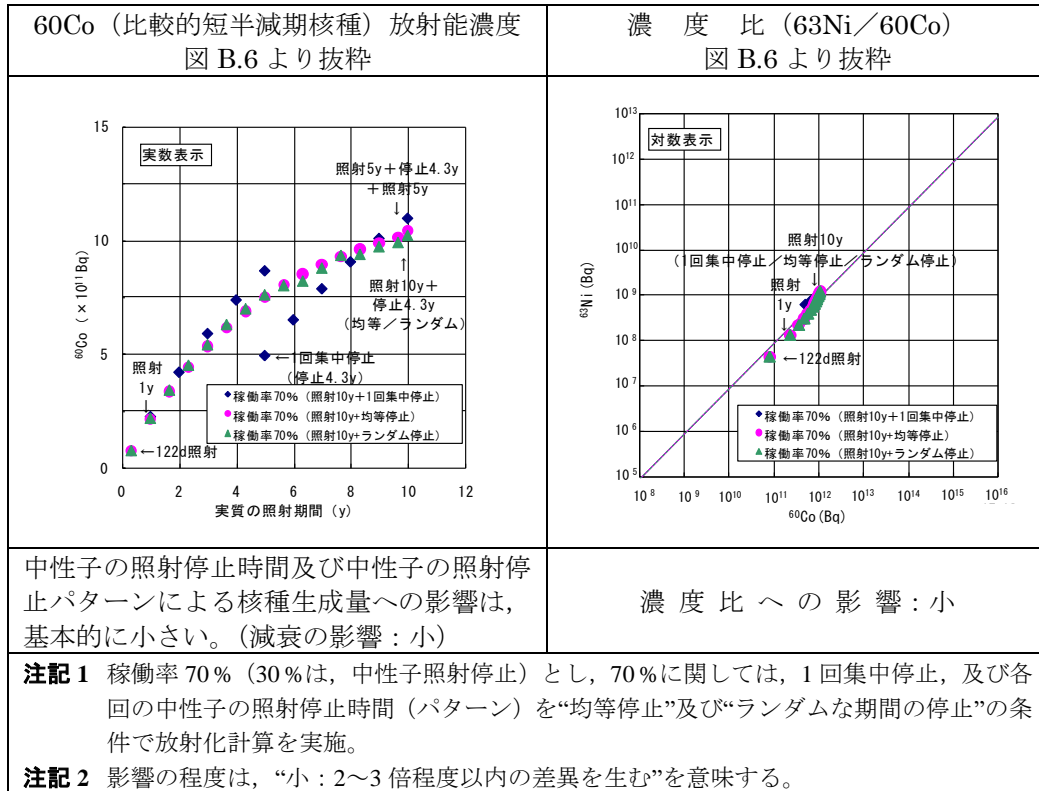
回答 13

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、その期間に応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。



14. 「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 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。

16. 「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付属書(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、現段階で付属書(参考)となっています付属書に関しては、「2.引用規格」には示していないものです。

なお、付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, 本体及び付属書(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」で参照する付属書について、付属書 F の評価対象物と付属書 I、J 及び K の評価対象物が同じであるものの付属書 F で用いている理論計算法が一部不明確です。付属書 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、付属書 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。

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もあります。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）

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。

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 ORIGIN 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 ORIGIN 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。

ORIGIN コードシリーズ (ORGEN79、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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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。

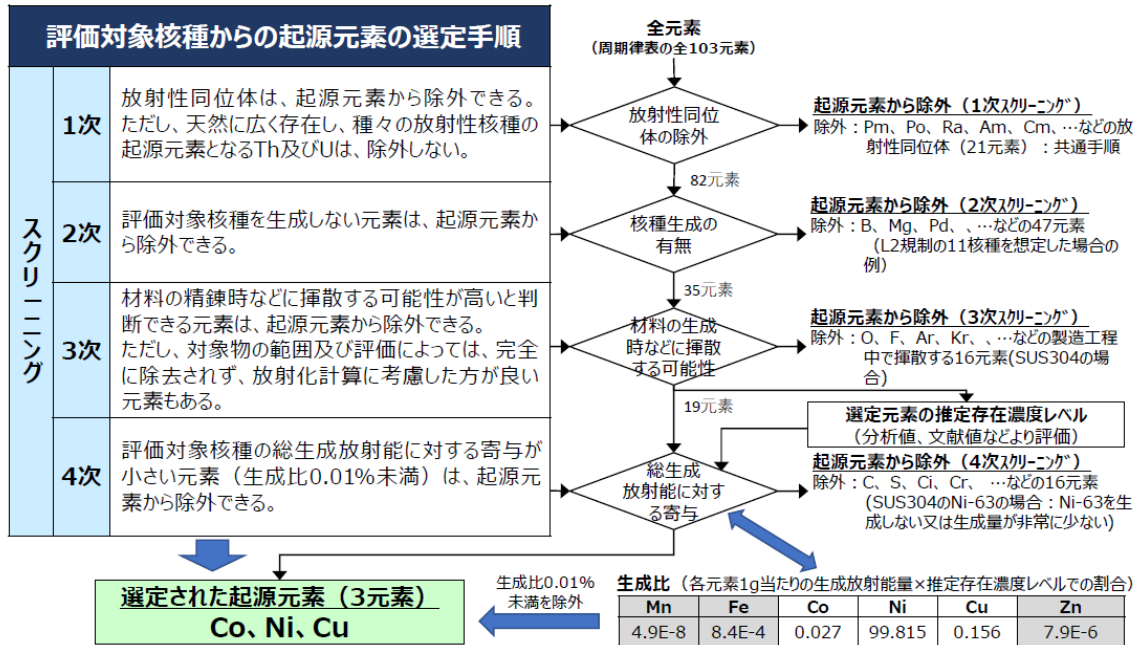
回答 11 (1)

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。



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。

$^{63}\text{Ni}/^{60}\text{Co}$	
解析結果 ^{a)}	
計算条件	想定参考条件に対し、中性子フルエンス率を4倍にした条件で放射化計算を実施。
影響の程度 ^{b)}	放射能濃度への影響：中 濃度比への影響：小

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

注^{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)**

1 4. 「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、それほど小さくなく、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）

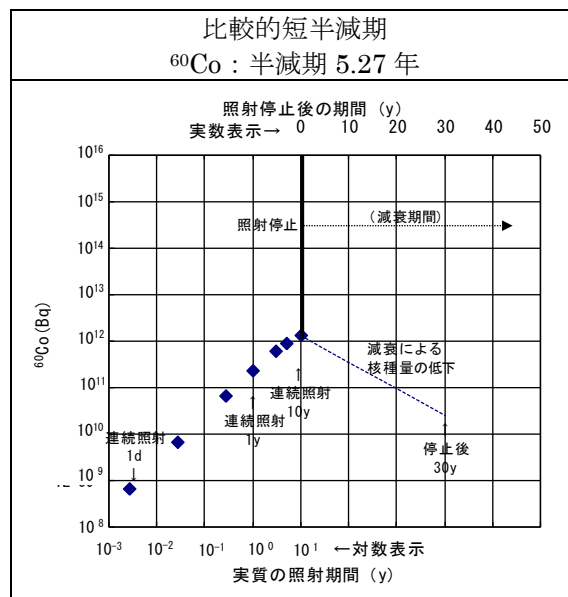
濃度比 2) ($^{63}\text{Ni}/^{60}\text{Co}$)		濃度比の比較
ARO バンク	D バンク	ARO バンク/D バンク
4.8×10^{-2}	3.2×10^{-2}	1.5

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 \sim 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おりますが、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おります。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おります。

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

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.

1 9. 「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。

2 0. 「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 （ $=1.0 \times 10^{-10}\text{Ci}$ ）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 $\text{Mn} \leq 2.00\%$ 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 ^{60}Co 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、「原料である鉱石に含まれるが、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。

NRA 更問への回答

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すので、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。

質問 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 ($=1.0 \times 10^{-10} \text{Ci}$) 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。

回答 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。

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。

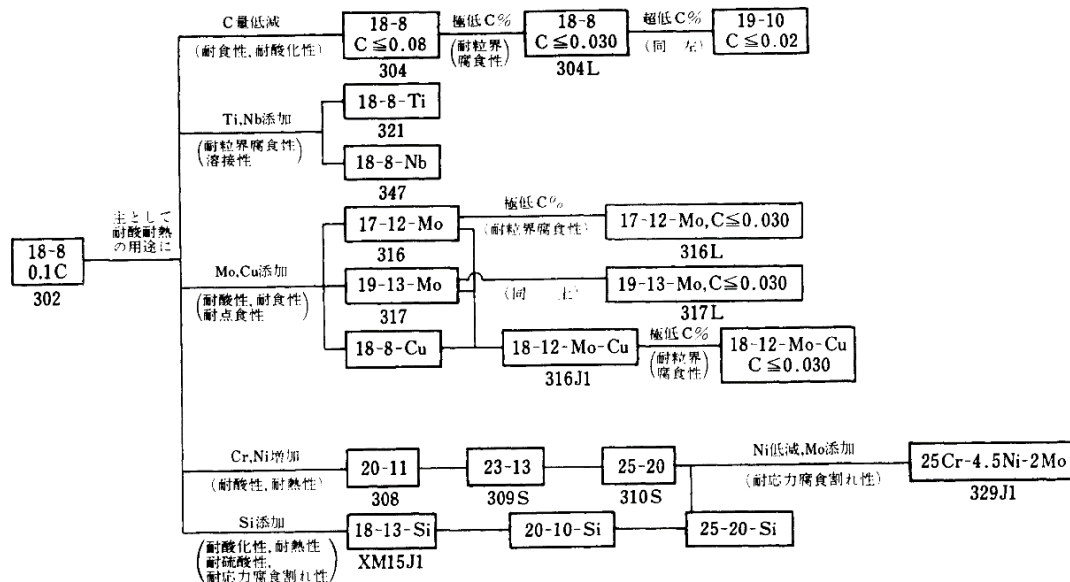
なお、ご指摘の切り捨て設定のように受け取られています Mn の 1.0 % の設定が、全て実測されている「不純物成分元素」である Mn の分析結果である 1.5 % を適用したとしても、結果としては、0.00822% ですので、結果としては同じとなります。

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

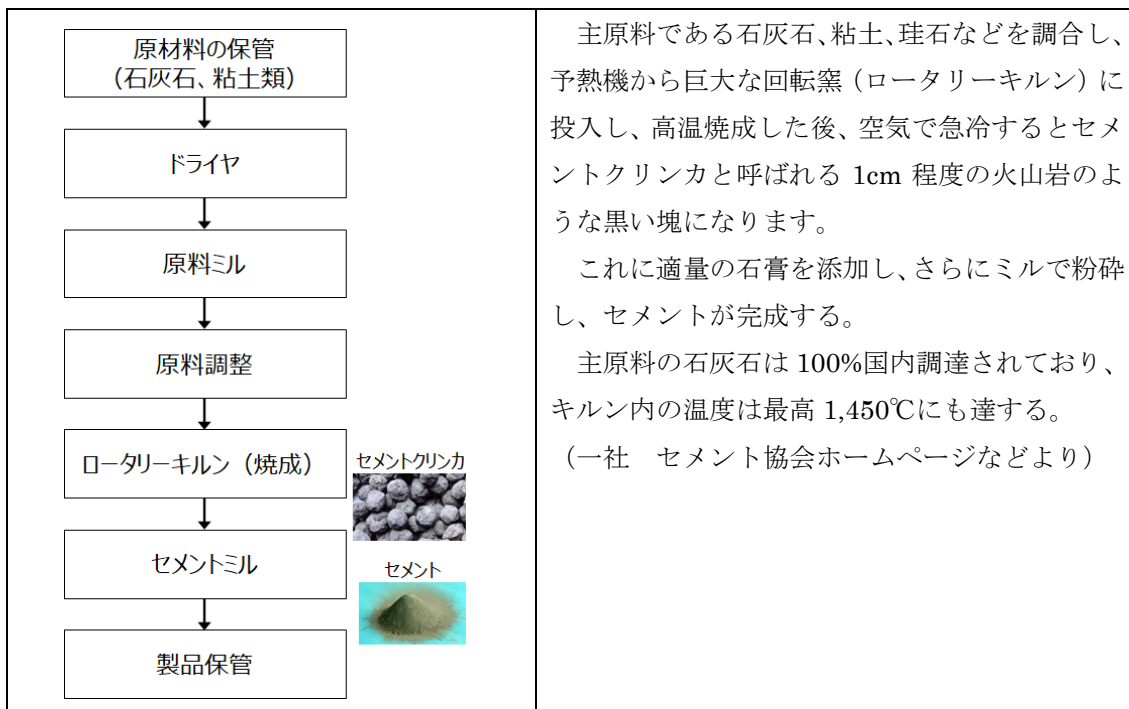
回答 20 (4)

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 ₃ O ₄ 、Fe ₂ O 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 $(S+3(CaO)=(CaS)+O)$ 、及び $(2P+3(CaO)+5O=3(CaO \cdot P_2O_5))$ 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ある。」

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）	—	—	—	○

2 4. 「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ないでしょうか。

(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。」としていますが、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か説明してください（適用する、適用することができる?）。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めず。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。

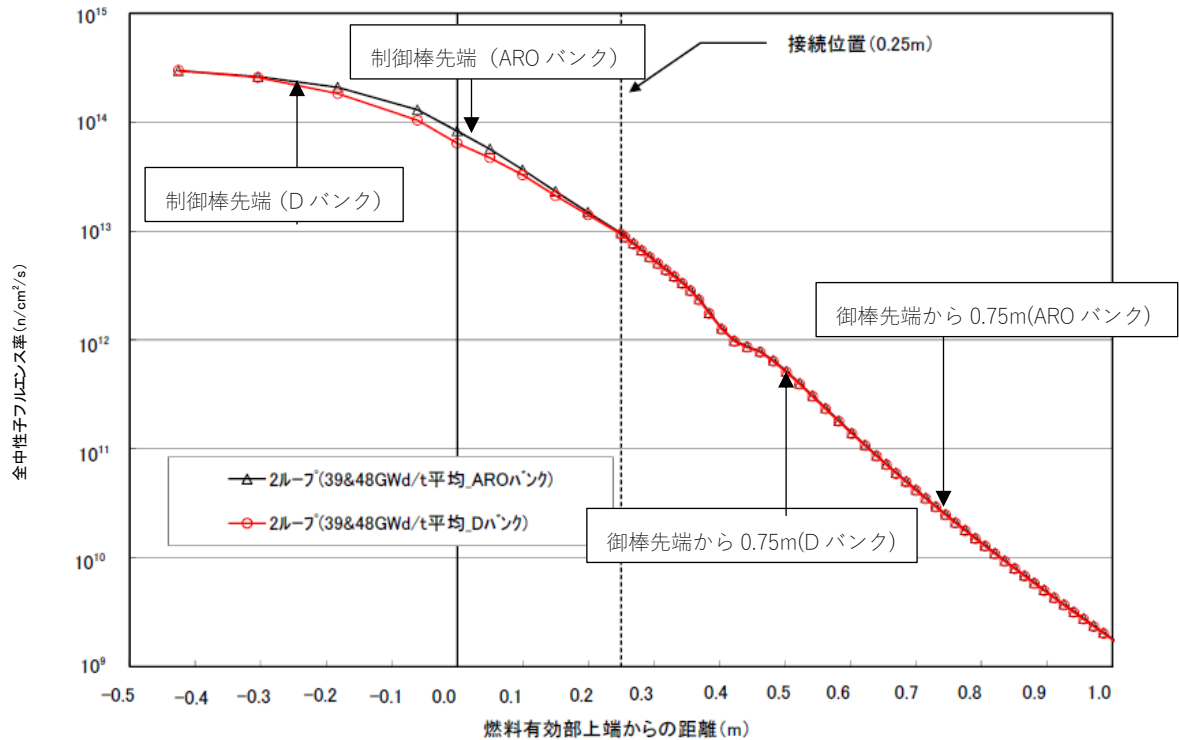
表 I.11-ZrTN804D (BWR チャンネルボックスの本体) の配置位置の設定

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などを踏まえ、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などを踏まえ、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）での評価が進めますが、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)

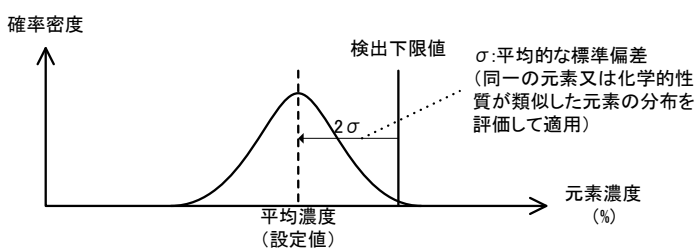
入力条件を設定するための濃度分布の上限値の位置（すなわち、標準偏差を踏まえて定める平均値の位置との差）は、放射化計算で得られる廃棄物濃度の保守性を考慮すると、元素分析条件は、平均値は高く、標準偏差は小さく評価することによって、より保守性が得られるため、次のような考え方で附属書 D の表 D.6 に示す濃度分布条件設定方法及び分析数に応じて、設定平均と標準偏差に保守性を加えて設定します。

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> <div style="text-align: center;">  </div> <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成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+1 σ ”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、標準に掲載しております分析データ（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	例 1 に示すとおり、 <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。 <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>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)

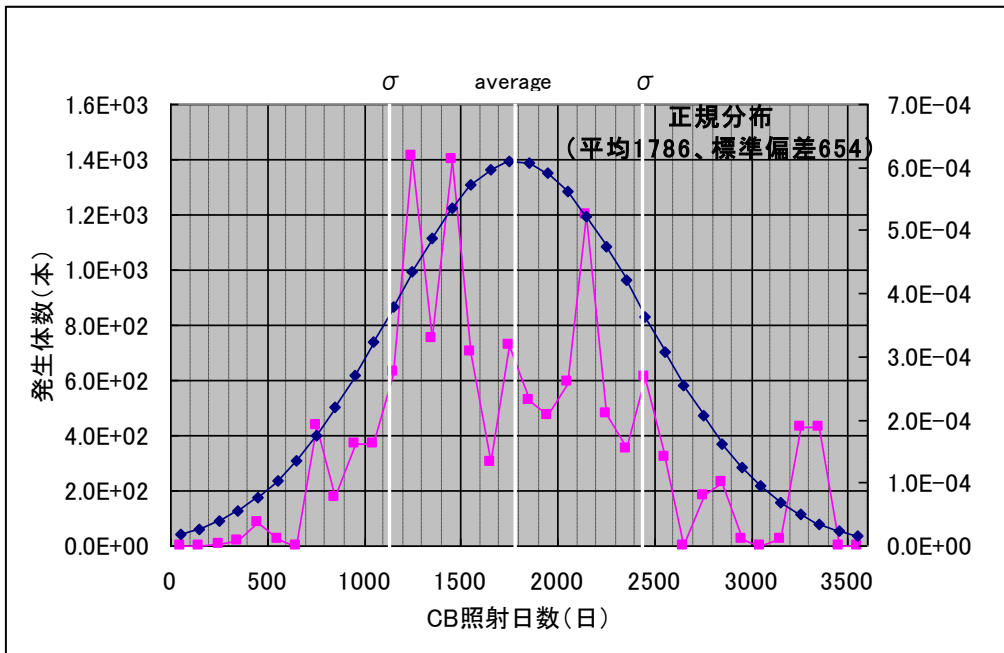
対数正規分布の場合、対数による表記では、標準偏差自体を数値（例 ±1.0）で示しても、誤解は生じませんが、実数（例 1.0E10）で平均値を示した場合、標準偏差を±の実数で示すことが出来ませんので、標準偏差の大きさを把握してもらうために、“平均値+1σ”の値を標準偏差の値の代わりに上片側のみ示したもので、「1σ」を加えることを意味したものではありません。

34. 「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。

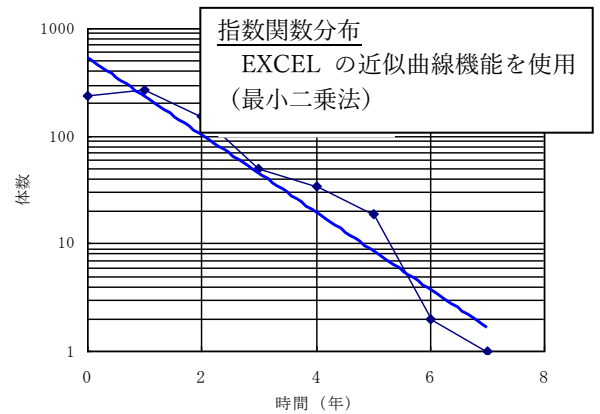
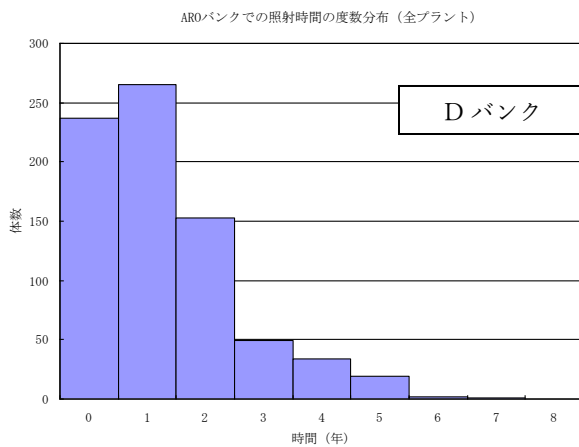
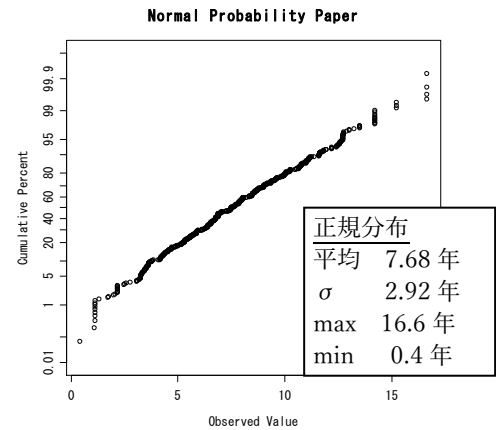
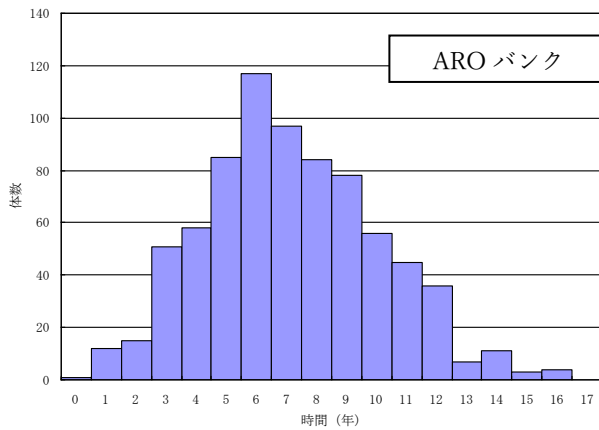
回答 34

「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



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。

36. 「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

37. 「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「評価対象廃棄物を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。

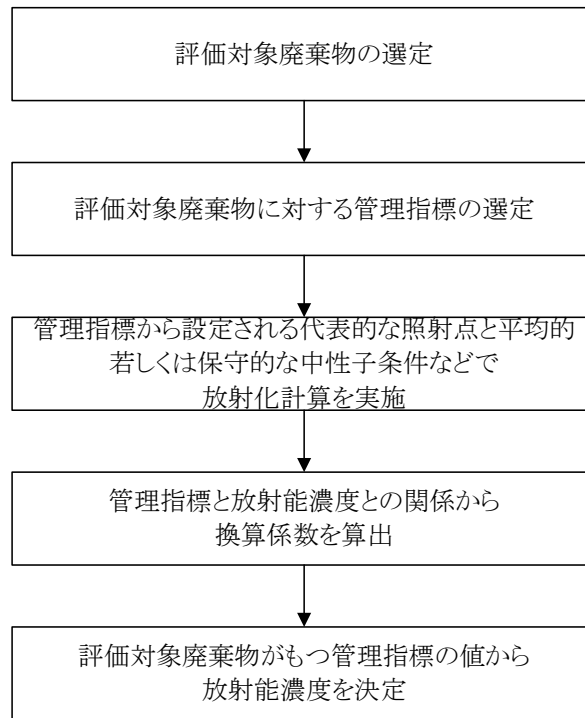
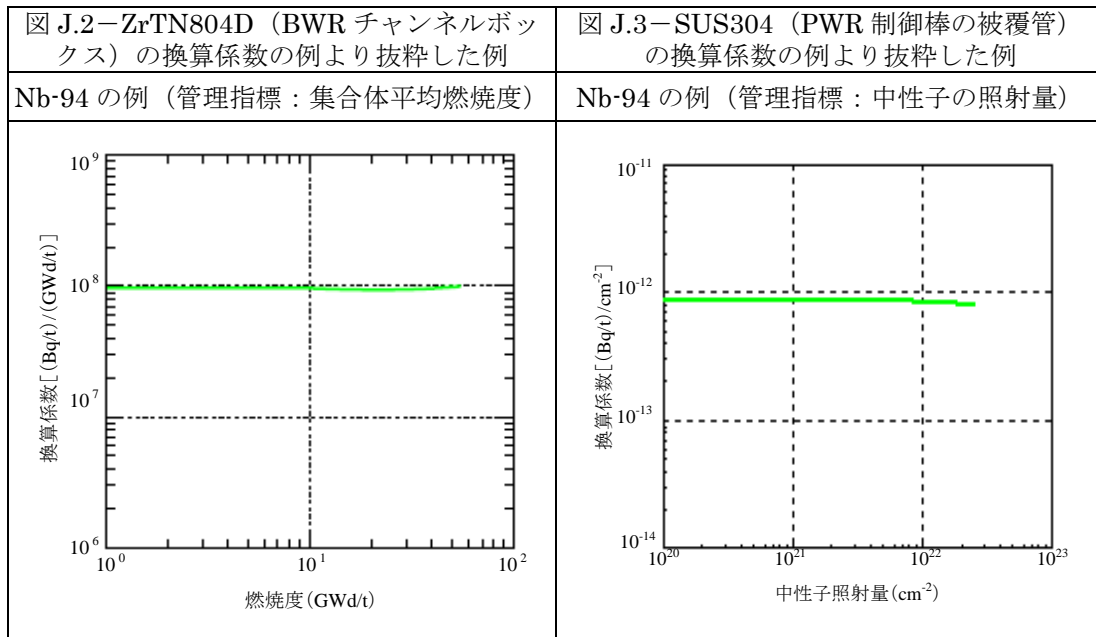


図 J.1—換算係数を用いる場合の評価手順の概略



3 8. 「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

例示する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が説明してください。

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ケール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（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。

49. 「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。

50. 「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

51. 「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、I.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

方法が規定されており、「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、何のことも理解できない。「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・拔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	排出又は拔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・拔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・拔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（上部，中部，下部）	一点	定点（時間） 試料採取方法（初期，中期，後期）

試料調整方法 (二次試料)	平均試料 <u>など</u>	—	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）となってしまうので、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るはずのところ、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。

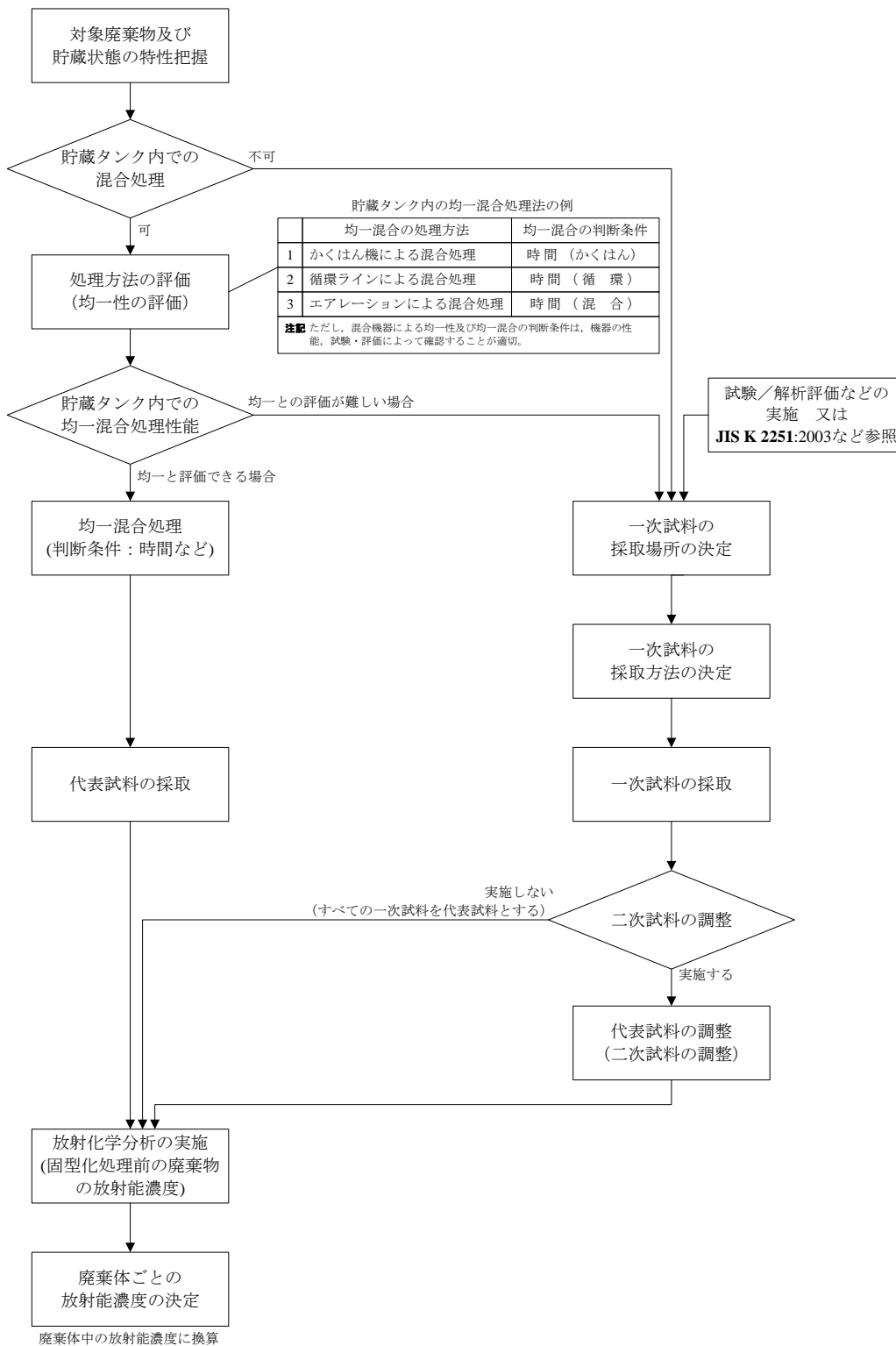


図 E.2—原廃棄物分析法の基本的な適用フロー