

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補足

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
<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>「(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。</p>	<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に質問したものです。</p>	<p>－ （炉型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>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"> <li>・ 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、総放射能濃度及び区画別放射能濃度※ の確認</li> <li>・ 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</li> <li>・ 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</li> <li>・ 廃棄物埋設施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の評価※</li> <li>・ 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※</li> </ul>	<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。</p>	<p>－ （廃棄体の放射能濃度と埋設物の総放射能濃度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。）</p>

<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>		
<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>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「など」の内訳を説明してください。</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>
<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>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</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>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>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> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>③ ②で選定された各被ばく経路について、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> </div>	<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>
<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、「評価対象とする廃棄物の性状及び評価対象核種に最も適</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>

<p>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>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>—</p>	<p>—</p> <p>(「点推定法」と「区間推定法」は、使い分けされていると理解しましたので、追加の質問はありません。)</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>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>(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>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 (NJJOY)」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。</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。」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しました。)</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</p>	<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</p>

適用した際の評価結果の同等性を説明してください。		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>9. 「D.1.3 濃度比法」</p> <p>(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—各区分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>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念があることから質問したものです。</p>	<p>—</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は、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>—</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>
<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>—</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>「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>—</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</p>

		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>10. 「表 D.1—各区分推定法の基本的な特徴及び適用対象放射化金属等」</p> <p>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>	—	— (「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」で説明してもらうことにしましたので、追加の質問はありません。)
<p>11. 「D.1.4 濃度分布評価法」</p> <p>(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。</p>	—	— (「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。)
<p>(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ことが必要となる。」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。</p>	—	— (「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、具体的な範囲がわかりましたので、追加の質問はありません。)
<p>(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な条件については、複数の計算条件を設定せずに一つの値(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</p>	—	— (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説明がありましたので、追加の質問はありません。)

<p>える影響が小さいことが明らかな条件」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>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>1 2. 「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>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に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>1 3. 「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>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ありましたので、追加の質問はありません。)</p>
<p>1 4. 「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</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値と仮定することは非保守的となる場合</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</p>

<p>の検出データから得られた濃度を「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<math>-2\sigma</math>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>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>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>（２）検出データが１点の場合に、元素濃度分布の標準偏差<math>\sigma</math>をどのように求めるか説明してください。</p>	<p>—</p>	<p>—</p> <p>（「検出データが１点の場合、標準偏差<math>\sigma</math>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。</p> <p>「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>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<math>-2\sigma</math>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>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>（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 <math>2\sigma</math> 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>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 <math>2\sigma</math> 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 <math>2\sigma</math> 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>「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<math>\sigma</math>はどのように算出するのか説明してください。</p>
<p>（３）濃度分布の標準偏差<math>\sigma</math>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>—</p>	<p>—</p> <p>（「検出データが１点の場合、標準偏差<math>\sigma</math>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。</p>



		「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。）
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	—	— (「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。)