

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

○ 「適用範囲と理論的方法の特徴」に関するもの

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

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。
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。
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) 保守性を見込み方について、データ群の標準偏差の分布の何%を見込むことを妥当とするのか、根拠とともに説明してください。
 - (2) 元素の検出下限値は、分析に用いた試料量や測定器の性能・測定方法等、化学分析の方法に依存します。対象となる放射化生成物の放射能、放射化断面積及び照射条件から逆算し、起源元素をどの程度の濃度レベルで評価すべきかを明らかにした上で、その値に対してどの程度の検出下限値を目標とするかによっても扱いが変わると考えられます。化学分析法の妥当性の評価のほか、目標とする検出下限値について説明してください。
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。
10. 「D. 5. 1 中性子条件の設定における基本事項」
 - (1) 本標準が対象とする3つの炉型について、どの炉型に対してどのライブラリを適用するのか具体例を説明してください。また、炉型に応じたライブラリをどのような観点で選択したのかを具体的に説明してください。
 - (2) JAEA 核データセンターでは放射化断面積データベース JENDL/AD-2017 を公開しています。JENDL/AD-2017 には、JENDL-4.0 には未収納であった基底状態及び準安定状態に対する評価済生成断面積、及び、JENDL-4.0 の公開以降に評価された核種の放射化断面積も収納されています。放射化評価において JENDL/AD-2017 をどのように取り扱うのか説明してください。

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。

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。

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。

1 4. 「A. 3 放射化計算コードの例」

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

1 5. 「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。

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。
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。

○ 「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 0（参考）原廃棄物分析法の記録の例」の「0.1 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）
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。
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、付属書 A 参照。」としています。付属書 A が優先されると理解しますが見解を示してください。
4. 「6.1.2.2 元素成分条件」の本文末尾の注記に記載する付属書 F は「（参考）放射化計算を行う場合の計算例」、付属書 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、付属書 F 及び付属書 G 参照。」は、「注記 入力条件の設定例及び計算例は、付属書 F 及び付属書 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。

5. 「6.1.2.2.1 起源元素の選定方法」

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

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。

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。

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。
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。

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。

11. 「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。

12. 「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。

- 1 3. 「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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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% であるのにかわらず、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、0 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。

- 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。」

- 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。

- 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。）

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。

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読めます。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。
- 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の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。
- 2 7. 「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%) と表示の方が適切ではないですか。

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。

29. 「H. 2. 4 検出困難元素の濃度分布評価方法」

- (1) 図 H. 17—SUS304 の製造工程及び製造工程中の Cl, Th 及び U の挙動調査結果 (一例)」には、原材料・銑鉄工程にスクラップ (購入スクラップ、リターンスクラップ) 材が含まれています。スクラップ材には意図しない循環性元素 (トランプエレメント) の存在が否定できず、濃縮されて検出可能レベルの濃度に達している可能性もあります。「図 H. 2—製造工程を考慮した検出困難元素の標準偏差の基本的な設定方法」にはスクラップ材が混入している材料の場合のフローが記載されていませんが、循環性元素の濃度分布評価方法について説明してください。
- (2) 「b) 平均的な標準偏差の設定方法」において、平均的な標準偏差の設定方法のイメージ図 (例) を図 H. 3 に示していますが、横軸が対数でない標準偏差データの分布形状に各データ群の標準偏差データ (対数正規分布) が分布するとしていることについて適切性を説明してください。
- (3) 「c) 検出困難元素の濃度分布評価 検出困難元素の濃度分布として、平均値及び標準偏差を設定する。平均値は、図 H. 1 に示したように、評価対象廃棄物 (材料) の元素分析データの検出値又は検出下限値を推定する元素の濃度分布の上限値として、b) で選択・設定した検出困難元素の平均的な標準偏差 (鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データで設定) を利用して設定する。濃度分布の上限値の位置 (例 濃度分布の上限値 = 平均値 + 2σ の濃度) は、放射化計算で得られる廃棄物濃度の保守性を踏まえ、適切に設定する。」とあります。一方で、「濃度分布の上限値の位置 (例 濃度分布の上限値 = 平均値 + 2σ の濃度) は、放射化計算で得られる廃棄物濃度の保守性を踏まえ、適切に設定する。」とありますが、その方法を具体的に説明してください。
30. 「附属書 I (参考) 濃度比を用いる場合の計算例」の文中に「濃度比」が多く登場しますが、濃度比法を指す濃度比と化学分量を指す濃度比とが混在しているように読めます。使い分けについて説明してください。

31. 「I. 1. 4 適用方法」

- (1) 「a) Key 核種の選定」において、次のいずれかに適合する Key 核種を選定としているが、理論計算法ではすべての核種の放射能濃度を放射化計算により求めるところ、2) で Key 核種を選定する理由を説明してください、また、2) について、放射能濃度を放射化計算によって算出できない核種の詳細を説明してください。
- 1) 外部から検出が比較的容易な γ 線放出核種である。
 - 2) 評価対象廃棄物ごとの放射能濃度を放射化計算によって算出できる核種である。
- (2) 「c) 濃度比の決定方法 2) 濃度比決定のための放射化計算結果（評価データ）の充足性」において、「評価対象廃棄物中の難測定核種及び Key 核種の濃度比の値を決定するための放射化計算結果の数が、十分であるかどうかの判断」において参考としている「適切なデータ数の取得の考え方」について、ISO21238:2007 に示されている内容を説明してください。また、「放射化計算の追加によって統計値の安定性に明確な向上が見込めなければ、十分と判断してよい」とする数値の判断基準を説明してください。
- 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。
- 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。
- 3 4. 「I. 2. 2. 3 中性子照射条件」の「表 I. 14—ZrTN804D (BWR チャンネルボックスの本体) の照射時間の出現頻度分布の設定」の中性子照射時間の設定条件は、平均値=1, 786 日、標準偏差=654 日としています。また、「表 I. 15—SUS304 (PWR 制御棒の被覆管) の中性子照射時間の出現頻度分布の設定」の中性子照射時間の設定条件は、D バンクが指数分布で $y=534.12e^{-0.8254x}$ (x: 中性子照射時間 (年), y: 発生頻度)、ARO バンクが正規分布で平均値=7. 68 年、標準偏差=2. 92 年としています。これらの数値の妥当性について説明してください。
- 3 5. 「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。
- 3 6. 「J. 1. 4. 2 換算係数の決定方法」の「b) 換算係数の妥当性の評価」について、「換算係数の妥当性は、詳細計算とサンプリングによる測定結果との比較などによって、その妥当性を、適用前にあらかじめ検証しておくことが必要」とありますが、その「詳細計算」の方法について説明してください。
- 3 7. 「J. 2. 4. 2 換算係数の決定方法」では、「図 J. 2—ZrTN804D (BWR チャンネルボックス) の換算係数の例 (管理指標: 集合体平均燃焼度)」及び「図 J. 3—SUS304 (PWR 制御棒の被覆管) の換算係数の例 (管理指標: 中性子の照射量)」を例示するだけで換算係数の決定方法についての記述がありません。決定方法について説明してください。

38. 「J. 2. 4. 3 放射能濃度の決定方法」では、「図 J. 4—ZrTN804D (BWR チャンネルボックス) の放射能濃度の評価例 (管理指標: 集合体平均燃焼度)」及び「図 J. 5—SUS304 (PWR 制御棒の被覆管) の放射能濃度の評価例 (管理指標: 中性子の照射量)」を例示す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。
39. 「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。
40. 「K. 1. 1 考え方」の「廃棄物グループの元素分析データから元素成分条件の変動範囲が把握できることから、その変動範囲を考慮して複数の元素成分条件を適切に設定できる。」とは具体的にどのようなことか説明してください。
41. 「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。
42. 「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」としていますが、その適切性を説明してください。
43. 「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。
44. 「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。
45. 「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。

- 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—各区分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。

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ところ、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。

- 4 8. 「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。

- 4 9. 「解説 6. 2. 1 元素成分条件の設定」に「(略) 同一の濃度分布(対数正規分布)を設定する元素の濃度分布データの標準偏差の分布を評価した結果を、解説図 1 に示すが、標準偏差の分布に大きな差異は、見受けられない(収集した元素分析データの標準偏差の最大は、SUS304 中の Co である。これは、試料サンプルに一般材料及び原子力仕様材料の両者を加えたことによって元素濃度分布範囲が大きくなったもので、一般材料を除いた場合の標準偏差の分布の範囲は、ほぼ同等である)。」とありますが、試料サンプルを一般材料及び原子力仕様材料とに区別した濃度分布データの標準偏差の分布を説明してください。

- 5 0. 「解説 6. 2 濃度比法を用いる場合の基本的な考え方及び計算例」の「6. 2. 2 SUS304 (PWR 制御棒)」は本文及び附属書のどこに対応するものか説明してください(「解説図 2—PWR 制御棒の最終照射条件の異なる極端な配置位置の組合せ」、「解説表 4—主な放射化計算の条件(概要)」及び「解説図 3—極端な配置位置の組合せでの各核種の放射能濃度の比較」を含む。)

- 5 1. 「解説 6. 2. 3. 2 擬似乱数を使用した放射化計算用データの作成方法」で正規分布、対数正規分布、一様分布及び指数分布のいずれにおいてもデータ数は 40 点としていますが、データ数による分布形状の適切性について説明してください。

- 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。
- 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。
- 5 4. 「解説図 9ー貯蔵タンクの配管（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、線量当量率の変動しています。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。
- 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。
- 5 6. 「解説図 15ー地殻試料の種類ごとの Cl 濃度の標準偏差との関係」の図中の凡例に示す安山岩、流紋岩及び土壌は濃淡が類似した丸印なので、区別しにくい状況です。○●×△▲等白黒印刷でも識別容易な異なる記号で説明してください。

○ 「実証的方法の具体及び評価結果の不確かさ」に関するもの

1. 「6.2.1 原廃棄物分析法の試料採取方法」

(1) a) と b) の関係について説明してください。[a) の規定「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。」とは、b) に採取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、何のことか理解できない。「AESJ-SC-F022:2011 に適用方法が示されている」を削除すれば意味は理解できる。それとも、a) は AESJ-SC-F022:2011 に規定する採取方法を適用できるということか。]

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

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。

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。

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。

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。

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。

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。
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。

以上