

資料 2－2－1

日本原子力学会「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
(AESJ-SC-F015:2019)」に関する技術評価書（案）

目次

1. はじめに	3
2. 放射能濃度決定標準の技術評価に当たって	3
2. 1 技術評価における視点	3
2. 2 技術評価の範囲と手順	3
2. 3 二種埋設事業規則との対応	3
3. 放射能濃度決定標準の技術的妥当性の確認方法	3
3. 1 技術評価の対象となる規定の選定	3
4. 技術評価の内容	4
4. 1 適用範囲	4
4. 2 評価対象核種	5
4. 3 放射能濃度決定方法の適用	12
4. 4 理論計算法の種類	15
4. 5 点推定法	18
4. 6 区間推定法	19
4. 6. 1 区間推定法の種類	19
4. 6. 2 換算係数法	24
4. 6. 3 濃度比法	27
4. 6. 4 濃度分布評価法	33
4. 6. 5 放射化計算の入力条件の基本設定フロー	37
4. 6. 6 評価対象放射化金属等の評価位置の選択	41
4. 6. 6. 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	41
4. 6. 6. 2 評価対象放射化金属等の原子炉内での設置位置の移動を踏まえた照射位置 の設定	43
4. 6. 7 元素成分条件の設定	45
4. 6. 7. 1 元素成分条件の設定方式の選定	45
4. 6. 7. 2 各元素の濃度分布基本形状の設定	46
4. 6. 7. 3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定	48
4. 6. 8 中性子条件の設定	58
4. 6. 8. 1 中性子条件の設定における基本事項	58
4. 6. 8. 2 中性子フルエンス率などの設定方法	62
4. 6. 9 照射条件の設定	65
4. 6. 9. 1 中性子の照射条件設定の基本的考え方	65
4. 6. 9. 2 中性子の照射条件設定における考慮事項	67
4. 7 追而	70

5. 放射能濃度決定標準の適用に当たっての条件.....	70
6. 日本原子力学会規格の策定に関する要望事項.....	70
添付資料	70

1. はじめに

追而

2. 放射能濃度決定標準の技術評価に当たって

追而

2. 1 技術評価における視点

追而

2. 2 技術評価の範囲と手順

追而

2. 3 二種埋設事業規則との対応

追而

3. 放射能濃度決定標準の技術的妥当性の確認方法

追而

3. 1 技術評価の対象となる規定の選定

追而

4. 技術評価の内容

4. 1 適用範囲

本標準の適用範囲については「序文」及び「1 適用範囲」に規定している。

(1) 規定の内容

序文

この標準は、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。

1 適用範囲

この標準は、原子力発電所の運転中及び解体時に発生する低レベル放射性廃棄物のうち、中深度処分を行う廃棄物中の放射能濃度を決定する理論的方法及び実証的方法の使用条件・手順を規定する。

(2) 検討の結果

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 2019 年版（以下「放射能濃度決定標準」という。）の「序文」及び「1 適用範囲」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対象とする旨記載されている。

原子力発電所には種々の炉型があるが、本標準が対象とする炉型について、日本原子力学会は、以下のように説明している¹。

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。

- ・ 沸騰水型軽水炉 (BWR)
- ・ 加圧水型軽水炉 (PWR)
- ・ ガス冷却炉 (GCR)

原子力発電所のうち、実用炉が対象であることから、「原子力発電所」は「実用発電用原子炉及びその附属施設」と読み替える。

(3) 適用に当たっての条件

追而

¹ 第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 2

4. 2 評価対象核種

中深度処分対象廃棄物の評価対象と核種については「4 評価対象とする廃棄物及び評価対象核種」に規定している。

(1) 規定の内容

4 評価対象とする廃棄物及び評価対象核種

- a) 評価対象とする廃棄物は、放射化金属等及び使用済樹脂等とする。
- b) 評価対象核種は、申請核種とする。

(2) 検討の結果

- ① 放射能濃度決定標準の解説「3 適用範囲」において、「この標準は、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。」と記載している。また、説明資料「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」²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」とある。

一方、第二種廃棄物埋設事業規則³は、以下の確認・評価を求めている。

- ・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、総放射エネルギー及び区画別放射エネルギー⁴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⁵の確認
- ・政令⁶第 31 条で定める放射性物質⁷（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シャインガンマ線の評価⁸
- ・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

² 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 資料 1-1、5 頁

³ 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（昭和 63 年総理府令第 1 号）

⁴ 第二種廃棄物埋設に係る事業規則第 2 条第 1 項第 1 号

⁵ 第二種廃棄物埋設に係る事業規則の改正案第 8 条第 2 項第 3 号

⁶ 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（昭和 32 年政令第 324 号）

⁷ C-14、Cl-36、Tc-99、I-129、アルファ線を放出する放射性物質

⁸ 第二種廃棄物埋設に係る許可基準規則の改正案第 8 条第 1 項

移行する見通しがあるものであることの評価⁹

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について、日本原子力学会は、以下のように説明している¹⁰。

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。

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。

日本原子力学会は、「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、総放射エネルギー及び区画別放射エネルギーの確認」及び「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」のための方法であるとしている。

したがって、技術評価はこれらに適用した場合の妥当性を対象に技術評価することとする。

- 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 中深度処分については、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る。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る。

- a) 「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」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

⁹ 第二種廃棄物埋設に係る許可基準規則の解釈の改正案第12条8（例えば、自然事象シナリオにおける「放射性廃棄物に含まれる主要な放射性物質」の放射エネルギー）

¹⁰ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料2-1-1 回答3

可能性がある。

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選定する方法及びその際に政令濃度上限値を超えるものとピット処分対象とを区分する方法について、日本原子力学会は、以下のように説明している¹¹。

＜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」に分かれていますが、本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、本標準を整備したものです。

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

＜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、総放射エネルギーなど）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。

- b) 上記「3.5 使用済樹脂等」における「その他の粉状若しくは粒状の放射性廃棄物」及び「3.14 放射化金属等」における「黒鉛など」の「など」について、日本原子力学会は、以下のように説明している¹²。

「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ものです。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。

「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。

¹¹ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 4(1)

¹² 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 4(2)

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、炉心スプレイスバージャ、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、バンカ廃棄物、モータリーホール、炉内構造物、切斷ドロス、黒鉛	

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。

「放射化金属等」は、原子炉内やその周辺で中性子照射によって放射化された機器等を想定し、「使用済樹脂等」には「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されていないとしている。

したがって、「3.5 使用済樹脂等」の定義の「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。」は「液

体状の放射性廃棄物又はイオン交換樹脂、フィルタスラッジの放射性廃棄物。」に読み替える。

- c)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る。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るが、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算出する方法について、日本原子力学会は、以下のように説明している¹³。

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。

しかしながら、廃棄体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。

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。

- ・ 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。

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になります。

放射能濃度決定標準は、実用発電用原子炉施設等の解体により発生する廃棄物の放射能濃度を評価することにより廃棄体製作の準備を行い、廃止措置を計画的に進めるために必要となるものである。最大値を示す代表部位での評価を行わない場合は、廃棄体の設計条件が定まらなると個々の廃棄体の Key 核種の放射能濃度を非破壊外部測定する方法は適用できない。

したがって、本技術評価においては、代表部位での評価を対象とすることとし、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、

¹³ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 4(3)

平均濃度、最大濃度などを決定する方法は技術評価の対象外とする。

- ③ 本文で「b) 評価対象核種は、申請核種とする。」と規定されているが、具体的な決定方法は規定されていない。申請核種の決定方法について、放射能濃度決定標準と旧原子力安全・保安院の内規¹⁴の以下の記載との関係について、日本原子力学会は、以下のように説明している¹⁵。

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。

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元素の選定は、本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。

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。

C-14, Cl -36, Co -60, Ni -63, Sr-90, Nb -94, Tc -99, I -129, Cs -137, 全 α 1)

注 1) α 線を放出する全ての放射性物質

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。

【放射性廃棄物に含まれる放射性物質の種類について（内規）（抜粋）】

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。

中性子照射によって評価対象核種を生成する起源元素の適切な選定がなされ、放射化計算が行われれば、その出力である評価対象核種の一覧は適切なものと判断することができる。これに関する技術評価は、「附属書 G(参考) 放射化計算の入

¹⁴ 放射性廃棄物に含まれる放射性物質の種類について（内規）平成 24・03・22 原院第 1 号

¹⁵ 第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 5

力条件の設定例」に関係する部分であり、同附属書の技術評価と併せて評価することとする。

(3) 適用に当たっての条件
追而

4. 3 放射能濃度決定方法の適用

放射能濃度決定方法の種類については「5.1 放射能濃度決定方法の適用」に規定している。

(1) 規定の内容

5.1 放射能濃度決定方法の適用		
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。		
a) 放射化金属等 基本的に理論的方法（理論計算法）を適用する。ただし、非破壊外部測定法、スケーリングファクタ法などの実証的方法、又は、理論的方法と実証的方法とを組み合わせることもできる。		
b) 使用済樹脂等 実証的方法を適用する。		
表 1ー放射能濃度決定方法の種類及び内容		
放射能濃度決定方法の種類		内 容
理論的方法	理論計算法	廃棄物ごとに放射化計算の条件を設定して放射化計算を行い、廃棄物又は廃棄物グループごとの放射能濃度を決定する方法、原子炉燃焼計算などによって理論的に得られる放射性核種の濃度比及びほかの手法で求めた放射能濃度を用いる方法。
	スケーリングファクタ法 ^{a)}	代表試料の放射化学分析等の測定結果から得られる難測定核種と Key 核種との相関関係と、個々の廃棄体外部による非破壊測定結果とを組み合わせ評価する方法。
実証的方法	非破壊外部測定法 ^{a)}	廃棄体の外部から非破壊測定する方法。
	平均放射能濃度法 ^{a)}	代表試料の放射化学分析等の測定結果から得られる平均的な放射能濃度を用いる方法。
	廃棄体破壊分析法 ^{a)}	廃棄体から代表試料を採取し、放射化学分析等を行い得られる放射能濃度などを用いる方法。
	原廃棄物分析法	固型化処理前の廃棄物から代表試料を採取し、放射化学分析等を行い得られる放射能濃度などを用いる方法。
注 ^{a)} AESJ-SC-F022:2011 の 5.1.2～5.1.4 及び 5.1.6 の方法を参照。		

(2) 検討の結果

- ① 「5.1 放射能濃度決定方法」には、「放射能濃度決定方法は、(中略)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。」と規定しており、スケーリングファクタ法等の実証的方法も適用可能としている。「表 1ー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

¹⁶であるが、当該手法は二次的汚染物を対象としている。

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について、日本原子力学会は、以下のように説明している¹⁷。

旧原子力安全委員会が示した手法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。

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

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^{注2)}に示しております。

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

「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」は技術評価していないが、放射化物及び二次的汚染物の「放射性物質の生成過程は同じである」ことを根拠としており問題ないと判断する。

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について、日本原子力学会は、以下のように説明している¹⁸。

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つの手法の中から「理論計算法」と「原廃棄物分析法」とを本標準で規定することにしました。

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

¹⁶ 日本原燃産業株式会社六ヶ所事業所における廃棄物埋設の事業に係る重要事項（廃棄体中の放射性物質濃度の具体的決定手順について）に対する報告について（平成4年4月2日 原子力安全委員会）

¹⁷ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 6

¹⁸ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 6

の下表に示す考慮内容、判断内容によって行います。

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	・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。	・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	・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。	・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。

対象は、「理論計算法」及び「原廃棄物分析法」であるとしていることから、スクレーリングファクタ法、非破壊外部測定法、平均放射能濃度法及び廃棄体破壊分析法は技術評価対象外とする。これに関連して「5.3.2 その他の方法」も技術評価対象外とする。

- ② 「表 1ー放射能濃度決定方法の種類及び内容」の理論計算法の内容欄の「ほかの手法で求めた放射能濃度を用いる方法」について、日本原子力学会は、以下のように説明している¹⁹。

(回答待ち)

- ③ 原廃棄物分析法については、固型化処理前の廃棄物の放射能濃度を用いているが、固型化用物質の放射化計算の可否について、日本原子力学会は、以下のように説明している²⁰。

(回答待ち)

(3) 適用に当たっての条件

追而

¹⁹ 第●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資料●-●-●回答 1(1)

²⁰ 第●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資料●-●-●回答 1(2)

4. 4 理論計算法の種類

理論計算法の種類については大別して「5. 2. 1 理論計算法の種類」、注記として「附属書 A（参考）理論計算法の適用方法及び手順」及び「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」に規定している。

（1）規定の内容

5. 2. 1 理論計算法の種類

次の 2 種類の方法が、放射化金属等の放射能濃度の評価に適用することができる。

- 点推定法 放射化金属等の特定の部位、又は代表的な部位の放射能濃度を計算するために適用する方法。
- 区間推定法 点推定法を発展させた方法で、同様の廃棄物特性、照射状態にあった放射化金属等に適用できる。代表的な放射能濃度の分布又は範囲の評価によって、対象物の平均放射能濃度などを計算する方法である。

注記 詳細は、附属書 A 及び附属書 B 参照。

（2）検討の結果

「5. 2. 1 理論計算法の種類」には、「点推定法」と「区間推定法」が規定されている。

- 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」と規定されている。

それぞれの手法を選択する場合の判断基準について、日本原子力学会は、以下のように説明している²¹。

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。

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。

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。

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

²¹ 第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 7(1)

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。

	点推定法	区間推定法
評価方法の概要	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。 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（特定位置の特定照射条件での）を実施する必要性が生じる。	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。 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 。
適する放射化金属等	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）	- 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） - 大型の放射化金属（例 シュラウド、炉心そう）
向かない放射化金属等	- 代表位置が明確に特定できない放射化金属等 （多数の計算が必要となる）大量に発生する放射化金属等 （多数の計算が必要となる）大型の放射化金属等	発生量の少ない、小型の放射化金属

- 「「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。
- 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。
- 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。

- ② 「A.3 放射化計算コードの例」に5種類の ORIGIN コードが記載されている。

それぞれの特徴と使い分けについて、また、各コードに内蔵される断面積ライブラリの基となる核データとその処理方法について、日本原子力学会は、以下のよう

に説明している²²。

（回答待ち）

²² 第●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資料●-●-● 回答 7(2)

- 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」と規定されている。

具体的な断面積の設定方法について日本原子力学会は、以下のように説明している²³。

(回答待ち)

(3) 適用に当たっての条件
追而

²³ 第●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資料●-●-● 回答 7(3)

4. 5 点推定法

理論計算法のうち点推定法については、「5. 2. 2 点推定法」及び注記として「附属書 C (参考) 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」に規定している。

(1) 規定の内容

5. 2. 2 点推定法

この方法は、放射化計算の基本となる方法である。通常、放射化金属等の内部に含まれる特定対象（部位）ごとに材料仕様、中性子条件（6. 1. 2. 3 参照）及び照射条件（6. 1. 2. 4 参照）を含む適切又は保守的なパラメータを用いて計算する。

この方法は、全てのタイプの放射化金属等の評価に適用できる。一般的に、特定の放射化金属等が最大放射能濃度に近い場合に適用する。

注記 詳細は、附属書 C 参照。

(2) 検討の結果

点推定法は、「特定対象（部位）ごとに材料仕様、中性子条件及び照射条件を含む適切又は保守的なパラメータを用いて計算する。」と規定している。

ここでの「適切なパラメータ」及び「保守的なパラメータ」について、日本原子力学会は、以下のように説明している²⁴。

(回答待ち)

(3) 適用に当たっての条件

追而

²⁴ 第●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資料●-●-● 回答 2

4. 6 区間推定法

4. 6. 1 区間推定法の種類

区間推定法の種類については「5. 2. 3. 1 区間推定法の種類」及び注記として「附属書 D(参考)区間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」に規定している。

(1) 規定の内容

5. 2. 3 区間推定法

5. 2. 3. 1 区間推定法の種類

中性子条件及び照射条件は、評価対象とする放射化金属等の炉内の物理的配置によって定まる中性子フルエンス率に依存するため、放射化金属等全体の放射能濃度は、“特定の放射化金属等の全体に対する中性子照射”を網羅する中性子条件によって、特定の放射化金属等に関する放射化計算を繰り返すことで評価できる。この方法は、代表的又は平均的な値及び分布を提供する。

幾つかの種類の放射化金属等の放射能濃度は、燃料の燃焼度などと密接な関係をもつ。

一旦、平衡状態に達すると、同じ放射化金属等の同じ部位の元素組成、中性子条件及び照射条件は同じであることから、生成された各々の放射性核種は一定の濃度比率をもつ。

原子炉中の固定された放射化金属等（例 原子炉圧力容器）は、起源元素の成分条件（以下、元素成分条件という。）及び照射条件が同じで、原子炉での水平位置・垂直位置の設置部位に依存する中性子フルエンス率だけが異なる。

このため、次の 3 種類の理論計算法が区間推定法として、適用できる。

- 換算係数法
- 濃度比法
- 濃度分布評価法

注記 詳細は、附属書 D 参照。

D. 1 区間推定法

D. 1. 1 区間推定法の種類

放射化金属等の内部の放射能濃度は、燃料の燃焼度と密接な関係をもつ点、放射化金属等の同一部位で生成した放射性核種の濃度の比は、元素成分条件及び照射条件が同じことから一定条件にある点、並びに炉内で固定され設置された放射化金属等は元素成分条件及び照射条件が同じで、部位による中性子条件だけが異なる点から、これらを考慮した表 D. 1 に示す下記の代表的な区間推定法が放射能濃度分布の評価方法として適用できる。

- 換算係数法
- 濃度比法
- 濃度分布評価法

注：表 D. 1 は添付資料参照

(2) 検討の結果

「5. 2. 3. 1 区間推定法の種類」には、換算係数法、濃度比法、濃度分布評価法の 3 種類が記載されている。

換算係数法は、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、濃度比法は、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間の濃度比が一定であることを利用し、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、濃度分布評価法は、同一の照射時間及び材料組成の放射化物中に生成する核種の放射能濃度を部位ごとに計算し、対象とした放射化物全体の対象核種の放射能濃度を評価する方法としている。それぞれの方法の適用条件については、規定されていない。また、評価結果の同等性やそれぞれの評価結果の保守性についても示されていない。例えば、「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る。

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について、日本原子力学会は、以下のように説明している²⁵。

「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。

このため、区分推定法は、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。

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分推定法で、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。

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。

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

理論的方法	点推定法	区分推定法	
		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	—	上記の複数の放射能濃	上記の複数の放射能濃

²⁵ 第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 8

計算結果を使用した評価		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「換算係数」を評価、設定する。	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。
廃棄体の放射能濃度の決定	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。	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。	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。
保守性	・入力データごとの最大値などの適用	・入力データごとの保守性の適用 ・換算係数の評価・決定における保守性の適用 ・燃焼度に関する保守性	・入力データごとの保守性の適用 ・濃度比に評価・決定における保守性の適用 ・Key 核種濃度非破壊測定結果

- 「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。

同表には、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る。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る。

対象となる放射化金属等が異なることについて、日本原子力学会は、以下のように説明している²⁶。

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。

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について、日本原子力学会は、以下のように説明している²⁷。

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。

- ・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

²⁶ 第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 8

²⁷ 第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 10

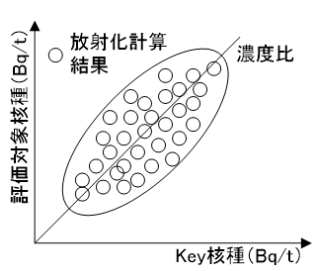
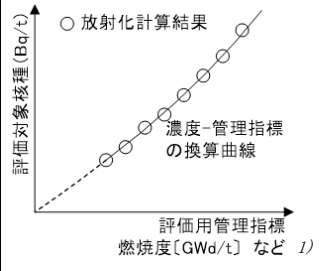
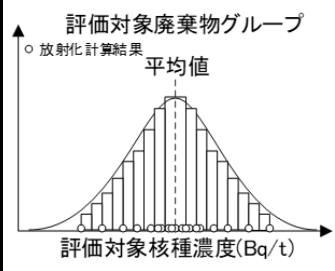
射化物放射化物への適性を示す。

- ・ 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。

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。

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。

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。さらに、いずれの手法でも、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、保守的な結果をもって評価できる方法となっています。

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間の濃度比が一定であることを利用し、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大型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(シュラウド、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(制御棒クラスタ案内管など)、大型の解体廃棄物(圧力容器、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ュラウド、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

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。

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。

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。

- 「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。

(3) 適用に当たっての条件

追而

4. 6. 2 換算係数法

区間推定法のうちの換算係数法については「5. 2. 3. 2 換算係数法」及び注記として「附属書 D(参考)区間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」に規定している。

(1) 規定の内容

5. 2. 3. 2 換算係数法

燃料と組まれる放射化金属等（チャンネルボックス、バーナブルポイズンなど）の中に中性子照射によって生成する放射性核種の放射能濃度は、燃料の燃焼度と密接な関係がある。これは、評価対象とする放射化金属等が同じ設計、材料仕様で、かつ、同じ照射条件及び中性子フルエンス率で照射されて原子炉に存在しているからである。

管理指標（例 燃料の燃焼度など）と放射化金属等の内部の放射能濃度との関係を、管理指標が取り得る範囲を網羅する放射化計算によって評価することで、管理指標に対する放射能濃度への換算係数を求め、管理指標に換算係数を乗じることによって放射化金属等の内部の放射能濃度を評価する。

注記 詳細は、附属書 D 参照。

D. 1. 2 換算係数法

換算係数法の概念は、放射性核種の生成量が中性子の累積照射量に比例することに基づく方法である。

中性子の累積照射量（中性子の照射量又は燃焼度、運転日数など）などを管理指標として使用し、管理指標に比例する換算係数を乗じることによって、放射化金属等の内部の放射能濃度を決定できる。

具体的には対象物における代表的、又は保守的な放射化計算条件を用いた計算によって、管理指標の値と放射能濃度との関係を換算係数として評価し、換算係数と対象とする放射化金属等の管理指標の値との積から放射能濃度を決定する方法である。

したがって、この方法は、評価対象とする放射化金属等に対する照射量と比例する因子とが原子力発電所などで管理され管理指標として利用できること、又は対象物の代表的な、若しくは保守的な中性子フルエンス率が設定できることが適用の条件となる。

管理指標の例として、次のものが挙げられる。

- － 制御棒、原子炉容器又は他の炉内構造物の累積照射時間。
- － BWR のチャンネルボックスの累積照射時間、又は燃料集合体の燃焼度。

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、次の式(1)のように近似的（中性子エネルギー群に単純化）に表わされる。

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

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)

ここで、評価対象とする放射化金属等の部位を考えると、放射化断面積 (σ)、親核種の原子数密度 (N) は一定とみなすことができ、崩壊定数 (λ) も定数であることから、放射能濃度は中性子の照射量 ($\Phi \times t$) と比例関係にある。

さらに、評価対象物の中性子の照射量 ($\Phi \times t$) に比例する因子を管理指標 B とすれば、放射能濃度は管理指標に比例し、放射能濃度と管理指標との比例係数を換算係

数 R として表せば、放射能濃度は、式(2)のように単純に表される。

$$A = R \times B \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 R : 換算係数

B : 管理指標 (例えば、燃焼度)

上記のように、放射能濃度は、換算係数 R と管理指標の値 B との積として表わすことができる。したがって、換算係数 R をあらかじめ評価しておけば、管理指標の値から評価対象とする放射化金属等の放射能濃度を求めることができる。

(2) 検討の結果

換算係数法は、燃焼度など放射能濃度と相関の高い管理指標を用いることで、対象物の放射能濃度を管理指標と換算係数との積として求める方法である。

- ① 「D.1.2 換算係数法」において、「したがって、この方法は、評価対象とする放射化金属等に対する照射量と比例する因子とが原子力発電所などで管理され管理指標として利用できること、又は対象物の代表的な、若しくは保守的な中性子フルエンス率が設定できることが適用の条件となる。」と規定している。

上記下線部の「又は」とする理由 (どちらか片方でよい理由) について、日本原子力学会は、以下のように説明している²⁸。

(回答待ち)

- ② 管理指標として、中性子の照射量 (中性子フルエンス率と中性子の照射時間の積) に比例する因子を用いることが示されており、例として燃焼度が挙げられている。

想定されるその他の管理指標の例示について、日本原子力学会は、以下のように説明している²⁹。

(回答待ち)

- ③ 「D.1.2 換算係数法」の(2)式は、換算係数に管理指標を乗じることで放射能濃度を算出するとしているが、管理指標としては、累積照射時間、燃焼度が例として示されている。

対象物の放射能濃度に影響を与える管理指標が複数ある場合の換算係数 R 及び変数 B の設定方法について、日本原子力学会は、以下のように説明している³⁰。

(回答待ち)

- ④ 「D.1.2 換算係数法」に記載する単位系については s と sec が混在している。放射能濃度の単位としても Bq/t (F.2.4) と Bq/g (表 K.2) が混在している。

使用する単位系について、日本原子力学会は、以下のように説明している³¹。

²⁸ 第●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資料●-●-● 回答 4(1)

²⁹ 第●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資料●-●-● 回答 4(2)

³⁰ 第●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資料●-●-● 回答 4(4)

³¹ 第●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資料●-●-● 回答 4(3)

(回答待ち)

- 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。
- 「附属書 J（参考）換算係数を用いる場合の計算例」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は示されていません。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。
- 「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³²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について説明してください。

(3) 適用に当たっての条件
追而

³² BWR 新型炉心燃料の適用と開発, 日立評論 Vol. 70, No. 4, (1988-4)

4. 6. 3 濃度比法

区間推定法のうちの濃度比法については「5. 2. 3. 3 濃度比法」及び注記として「附属書 D(参考) 区間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」に規定している。

(1) 規定の内容

5. 2. 3. 3 濃度比法 放射化金属等の特定部位では、中性子照射によって同時に生成する放射性核種の濃度の比は、特定部位における元素成分条件、中性子条件及び照射条件がほとんど同じことから一定条件にある。 同じ種類の複数の放射化金属等の複数の部位の元素成分条件、中性子条件及び照射条件を網羅する放射化計算によって、評価対象とする放射化金属等全体の難測定核種の放射能濃度と同時に生成する Key 核種の放射能濃度との相関関係の評価し、難測定核種と Key 核種との濃度比を算定しておき、濃度比に Key 核種の放射能濃度を乗じることによって、放射化金属等の内部に含まれる各評価対象核種の放射能濃度を評価する。 なお、半減期が大きく異なる難測定核種と Key 核種との比率に、照射終了後の減衰時間が影響を与える場合は、減衰時間を考慮する。 注記 詳細は、附属書 D 参照。
D. 1. 3 濃度比法 濃度比法の概念は、汚染した放射性廃棄物に適用されているスケーリングファクタ法と類似のものである。ただし、スケーリングファクタ法は、実際の汚染した放射性廃棄物の放射化学分析結果を用いた実証的方法であるのに対し、濃度比法は、対象とする放射化金属等の放射化に係る条件範囲（元素成分、中性子フルエンス率及び照射履歴）を網羅する放射化計算を行い、その計算結果を用いて難測定核種と Key 核種との濃度比を設定する理論的方法である。 この考えは、評価対象とする放射化金属等の照射開始から照射終了までの期間において、放射化金属等の放射能濃度は経時的に変化しても、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及び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ものである。このため、放射化計算によって対象とする放射化金属等の平均的な核種の濃度比を決定するには、廃棄物の照射条件（照射位置及び原子炉の運転条件）を考慮した範囲を放射化計算条件として設定する。 したがって、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、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、適用できる方法である。

(2) 検討の結果

濃度比法は、対象とする放射化金属等の放射化に係る条件範囲（元素成分、中性子フルエンス率及び照射履歴）の変動範囲を網羅する放射化計算を行い、その計算結果を用いて難測定核種と Key 核種の濃度比を設定する方法である。

- ① 「D. 1. 3 濃度比法」において、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る。

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について、日本原

子力学会は、以下のように説明している³³。

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（スケーリング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。

また、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について、日本原子力学会は、以下のように説明している³⁴。

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。

- 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）
- 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。

上記②の方法は廃棄体に収納した後の放射能濃度を測定する方法であることから、技術評価の対象外とし、上記①の妥当性を対象に技術評価することとする。

- ② 「D. 1.3 濃度比法」において、「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及び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」とされているが、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る。

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について、日本原子力学会は、以下のように説明している³⁵。

ここでの「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」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ェンネルボックスは、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

³³ 第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム 資料 2-1-1 回答 9(1)

³⁴ 第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム 資料 2-1-1 回答 9(1)

³⁵ 第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム 資料 2-1-1 回答 9(2)

炉内の位置が変わっても、各炉内設置位置での照射履歴を集積した同じ中性子フルエンス率及び照射時間になります。

したがって、選定位置位での元素組成、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。

なお、附属書Dの式(1)に示すように、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)

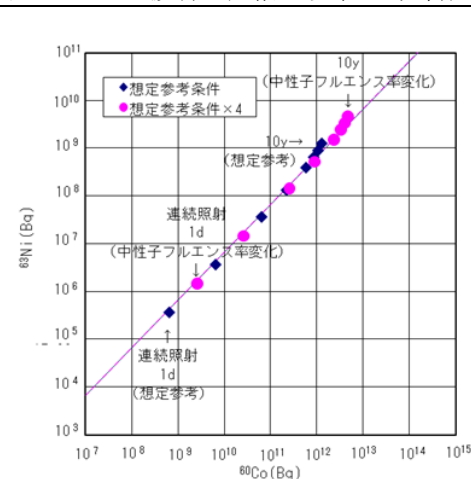
λ : 生成核種の崩壊定数 (s⁻¹)

t : 中性子の照射時間 (s)

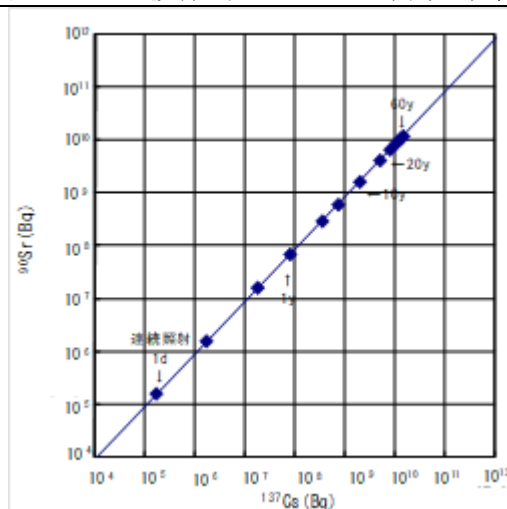
この式を用いると、評価対象部位の放射能濃度は経時的に変化しても、選択した評価対象部位では、「同一の中性子フルエンス率、同一の中性子の照射時間」であることから、評価対象核種と Key 核種との濃度比は、一定の定数で示すことができることになります。

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。

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)



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)



- 「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。

- 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る。

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について、日本原子力学会は、以下のように説明している³⁶。

「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。

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。

³⁶ 第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 9(3)

「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」とあり、「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」の照射停止時間（原子炉供用期間中）の注記 a) には、「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。」とされている。

したがって、これを明確にするために、「5.2.3.3 濃度比法」において、「同じ種類の複数の放射化金属等の複数の部位の元素成分条件、中性子条件及び照射条件を網羅する放射化計算によって、評価対象とする放射化金属等全体の難測定核種の放射能濃度と同時に生成する Key 核種の放射能濃度との相関関係の評価し、難測定核種と Key 核種との濃度比を算定しておき、濃度比に Key 核種の放射能濃度を乗じることによって、放射化金属等の内部に含まれる各評価対象核種の放射能濃度を評価する。」に「この場合において、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。」を加える。

- 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」とあり、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と想定される。

照射履歴の詳細情報が明らかでない場合に、濃度比法が適用できることについて、日本原子力学会は、以下のように説明している³⁷。

「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。

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となる入力条件は設定できます。

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

³⁷ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 9(4)

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。

「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ので、「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、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、適用できる方法である。」とあるのは、「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）を考慮した難測定核種と Key 核種との濃度比を評価済みの場合において、Key 核種濃度を測定すれば、適用できる方法である。」と読み替える。

（３）適用に当たっての条件

追而

4. 6. 4 濃度分布評価法

区間推定法のうちの濃度分布評価法については「5. 2. 3. 4 濃度分布評価法」及び注記として「附属書 D(参考) 区間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」に規定している。

(1) 規定の内容

5. 2. 3. 4 濃度分布評価法 原子炉内の固定された放射化金属等は、元素成分条件及び照射条件（時間）が同じで、原子炉内での設置部位による中性子フルエンス率だけが異なる。 放射化金属等の各照射部位の中性子フルエンス率を網羅する放射化計算によって、放射化金属等全体における放射性核種の放射能濃度の分布を評価し、この分布に基づき、放射化金属等の内部に含まれる平均放射能濃度などを評価する。 注記 詳細は、附属書 D 参照。
D. 1. 4 濃度分布評価法 濃度分布評価法は、放射化金属等ごとの放射能濃度を決定するのではなく、同一種類の複数の放射化金属等を一つのグループ（例えば、黒鉛ブロック全体を一つのグループとする）とし、そのグループに対して放射能濃度を決定する方法である。 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。このため、そのグループ内の廃棄物について、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。 この場合、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。 この考え方に基づき、放射化金属等のグループの計算条件の変動範囲を考慮した複数の放射化計算を行い、計算結果の放射能濃度分布から放射能濃度の平均値などを求める。また、この法によって求める廃棄物グループの放射能濃度の平均値などの決定に当たっては、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。

(2) 検討の結果

濃度分布評価法は、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放射化物に対して、同一種類の複数の放射化金属等を一つのグループとして、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場合に、放射化金属等グループを代表する放射能濃度を適用する方法としている。

- ① 「D. 1. 4 濃度分布評価法」において、「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。」と規定している。

「放射能濃度を保証する」具体的な方法について、日本原子力学会は、以下のよ

うに説明している³⁸。

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
- ・中性子フルエンス率がある一定の範囲内にあること
- ・中性子照射条件が同一であること

放射化計算方法において、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）が「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」、「中性子照射条件が同一であること」が確認できていることを適用の前提条件とするとしているが、放射能濃度決定標準には、これらが規定されていない。

したがって、「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。」に「この場合において、「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）が保証できること」とは、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をいう。」を加える。

- ② 本評価「D.1.4 濃度分布評価法」には「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。」と規定されている。

「ある一定の範囲内」の意味について、日本原子力学会は、以下のように説明している³⁹。

「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、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」とするとしているが、中性子フルエンス率は中性子スペクトルの影響を受けると想定される。

- 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

³⁸ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 11(1)

³⁹ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 11(2)

説明してください。

- ③ 上記②に関連して、例示された中性子フルエンス率以外の変動要因となりうる計算条件について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁴⁰。

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、「D.1.4 濃度分布評価法」において「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。」と規定されているが、「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、日本原子力学会は、以下のように説明している⁴¹。

「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。

「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」とあるが、変動要因になりうるものは中性子フルエンス率だけであることから、「計算条件（例えば、中性子フルエンス率）の変動範囲」は「中性子フルエンス率の変動範囲が」と読み替える。

また、「計算結果に与える影響が小さいことが明らかな条件」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していることから、「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、」は「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（評価対象の機器又は部材を移動、交換していない場合）については、」と読み替える。

- ④ 「D.1.4 濃度分布評価法」において「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。」と規定している。

「安定して分布している」ことの評価方法について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁴²。

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

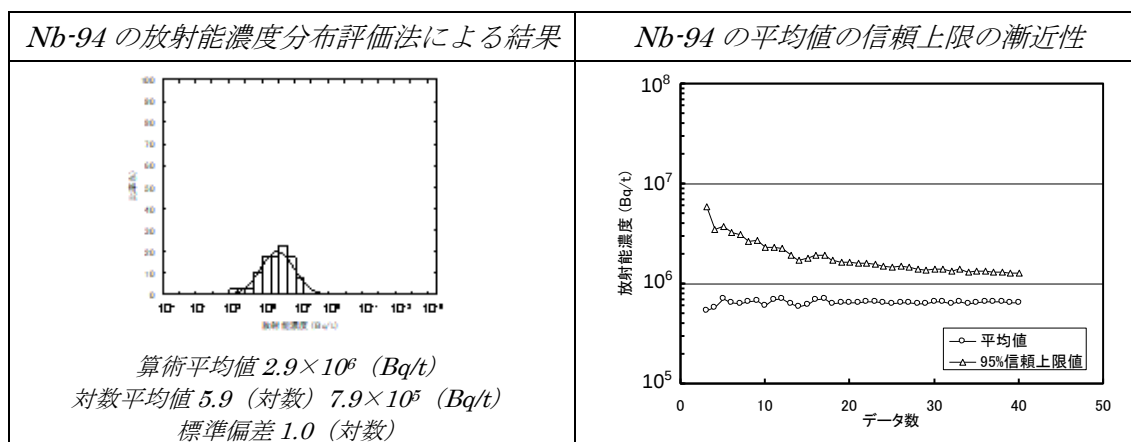
⁴⁰ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 11(3)

⁴¹ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 11(3)

⁴² 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 11(4)

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、計算の回数を多くすることで「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。



「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。

したがって、「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。」は「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。この場合において、「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」とは、評価の対象とする廃棄物のグループの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状態をいう。」に読み替える。

（３）適用に当たっての条件 追而

4. 6. 5 放射化計算の入力条件の基本設定フロー

放射化計算の入力条件の流れは「D.2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」に規定している。

(1) 規定の内容

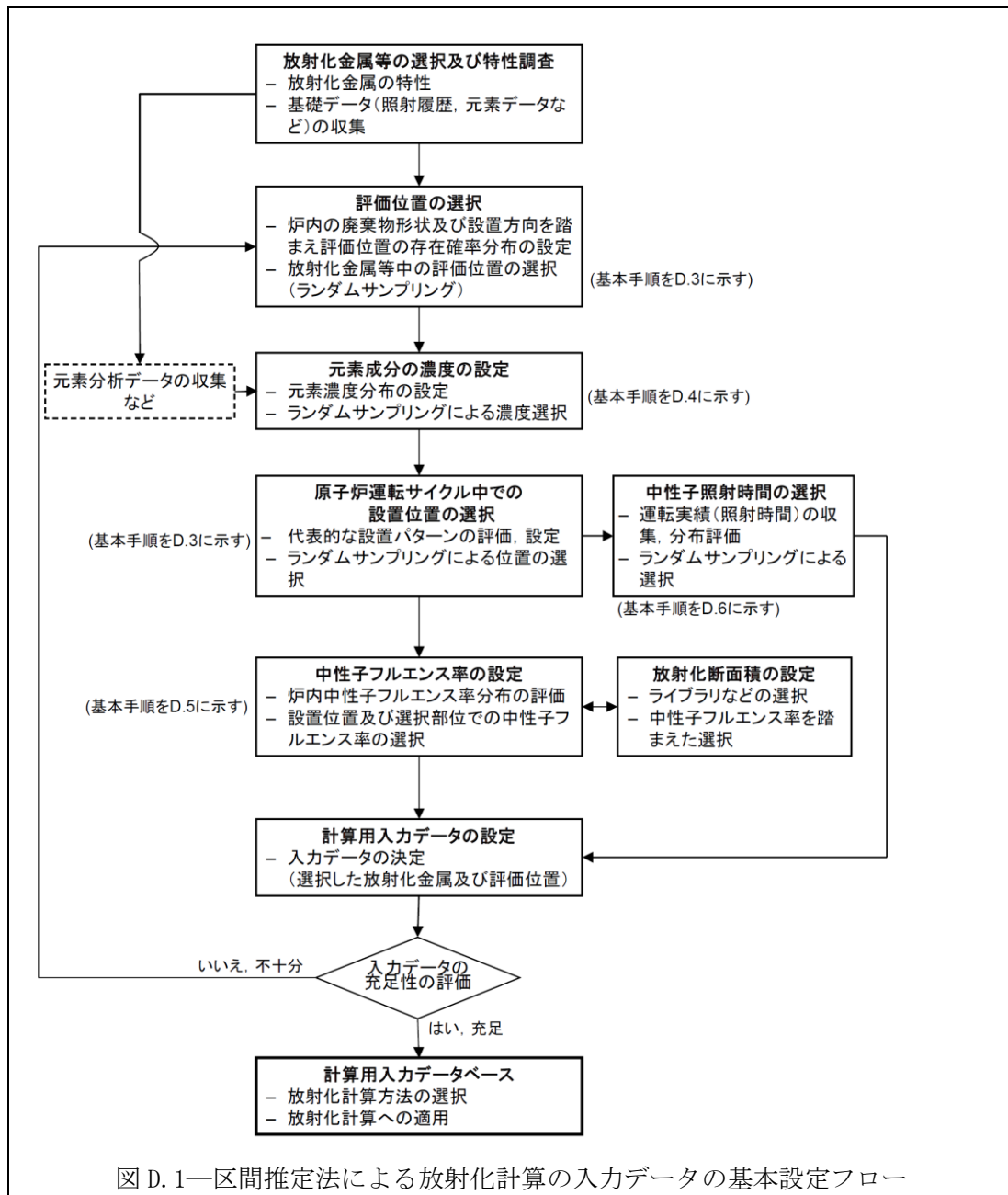
D.2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー

評価対象とする放射化金属等の放射能濃度を決定するための放射化計算を行う上で必要となる入力条件の設定方法には、次の2種類がある。

- － 点推定法向け：評価対象とする放射化金属等の元素濃度分布，中性子フルエンス率及び照射条件の代表的な値（平均値，保守的な値など）を入力条件として設定する。
- － 区間推定法向け：評価対象とする放射化金属等の元素濃度分布，中性子フルエンス率及び照射履歴を網羅する必要な複数の入力条件を準備する。

評価対象とする放射化金属等の元素濃度分布，中性子フルエンス率及び照射履歴を網羅する十分な複数の入力条件を準備する区間推定法のための基本設定フローを，図D.1に示す。各入力条件は，次のステップで選択することで，評価対象とする放射化金属等の放射化条件を適切に網羅できる複数の入力条件の設定が可能となる。

- a) 評価対象とする放射化金属等の選択及び特性の調査（略）
- 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）（略）
（D.3 参照）
- c) 元素成分の濃度の設定（略）（D.4 参照）
- d) 原子炉運転サイクルにおける設置位置の選択（略）（D.5 参照）
- e) 中性子の照射時間の選択（略）（D.6 参照）
- f) 中性子フルエンス率の設定（略）（D.5 参照）
- g) 放射化断面積の設定（略）（D.5 参照）
- h) 放射化計算用の入力データの設定（略）



(2) 検討の結果

「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」は、評価対象とする放射化金属等の元素濃度分布、中性子フルエンス率及び照射履歴を網羅する十分な複数の入力条件を準備する区間推定法のための基本設定フローを示したものである。

① 各入力条件の設定は「代表的な条件」又は「ランダムサンプリング」となっている。

放射能濃度決定標準の目的を「最大放射濃度を超えないこと」とした場合に「保守的な条件」としなくてよい理由について、日本原子力学会は、以下のように説明

している⁴³。

(回答待ち)

- ② 「代表的な条件」と「ランダムサンプリング」を使い分ける際の条件について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁴⁴。

(回答待ち)

また、同一の放射化金属等について、「代表的な条件」と「ランダムサンプリング」それぞれの手法で計算した際の計算結果の同等性について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁴⁵。

(回答待ち)

- ③ 「評価位置の選択」のステップに「評価位置の存在確率分布の設定」とあるが、「D. 3 評価対象放射化金属等の評価位置の選択」にはこれに関する記載ない。

存在確率分布の設定方法を、日本原子力学会は、以下のように説明している⁴⁶。

(回答待ち)

- ④ ランダムサンプリングを行う場合の計算の繰り返し回数の考え方について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁴⁷。

(回答待ち)

- ⑤ 「中性子フルエンス率の設定」のステップと「放射化断面積の設定」のステップの間が両矢印になっている。

その意味について日本原子力学会は、以下のように説明している⁴⁸。

(回答待ち)

- ⑥ 「入力データの充足性の評価」のステップについては、「A. 4 妥当性確認の例」において、「なお、区間推定方法に必要な放射化計算結果の数は、図 A. 2 に示す放射化計算の数による Key 核種濃度と難測定核種濃度間との相関係数の安定性の評価などによって、把握できる。」と規定され、「図 A. 2 放射化計算数の増加に伴う相関係数（平均、95%信頼下限値）の安定性のイメージ」が示されている。

具体的にどのように充足性を判断するのかについて、日本原子力学会は、以下の

⁴³ 第●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資料●-●-● 回答 6(1)

⁴⁴ 第●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資料●-●-● 回答 6(2)

⁴⁵ 第●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資料●-●-● 回答 6(2)

⁴⁶ 第●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資料●-●-● 回答 6(3)

⁴⁷ 第●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資料●-●-● 回答 6(4)

⁴⁸ 第●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資料●-●-● 回答 6(5)

ように説明している⁴⁹。

(回答待ち)

なお、フロー図が主で各ステップの内容が従の構成になっているが、規定は文章が主で図は理解を助けるための参考とすることが望まれる。

(3) 適用に当たっての条件

追而

⁴⁹ 第●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資料●-●-● 回答 6(6)

4. 6. 6 評価対象放射化金属等の評価位置の選択

4. 6. 6. 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

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は「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」に規定している。

(1) 規定の内容

D. 3 評価対象放射化金属等の評価位置の選択			
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			
中性子フルエンス率（フラックス及びスペクトル）を設定するためには、評価対象とする放射化金属等の評価する照射位置を選択し、その位置での炉内の中性子フルエンス率を特定する必要がある。このためには、まず、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、配置位置を考慮した照射位置を選定した上で、評価対象とする放射化金属等の選定した照射位置ごとに適切な中性子条件を設定する。			
評価対象とする放射化金属等の形状及び設置方向を考慮した放射化計算の評価対象とする照射位置を設定する場合の基本的な考え方を、表 D. 2 に示す。			
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			
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
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。			

(2) 検討の結果

評価対象とする放射化金属等の形状及び設置方向を考慮した放射化計算の照射位置を設定する場合の基本的な考え方を示したものであり、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を「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」のとおりとしている。

① 「照射位置の出現確率」について、日本原子力学会は、以下のように説明している

50。
。

(回答待ち)

- ②「考慮する照射位置の出現確率の分布」について、原子炉軸方向に設置した放射化金属等については一様分布、原子炉の径方向に設置した放射化金属等については該当部の面積比に応じた分布としているが、この設定の根拠について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁵¹。

(回答待ち)

- ③「評価対象とする放射化金属等の形状及び設置方向」の項には放射化金属等の設置方向についての記述しかないが、放射化金属等の形状についてはどのように設定するのか説明を求めたところ、日本原子力学会は、以下のように説明している⁵²。

(回答待ち)

- 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及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。
- 「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。

(3) 適用に当たっての条件

追而

⁵⁰ 第●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資料●-●-● 回答 7(1)

⁵¹ 第●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資料●-●-● 回答 7(2)

⁵² 第●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資料●-●-● 回答 7(3)

4.6.6.2 評価対象放射化金属等の原子炉内での設置位置の移動を踏まえた照射位置の設定

評価対象放射化金属等の原子炉内での設置位置の移動を踏まえた照射位置の設定は、「D.3.2 評価対象放射化金属等の原子炉内での設置位置の移動を踏まえた照射位置の設定」に規定している。

(1) 規定の内容

D.3.2 評価対象放射化金属等の原子炉内での設置位置の移動を踏まえた照射位置の設定 評価対象とする放射化金属等の原子炉内での運転サイクルごとの設置位置の移動の有無による照射位置の設定に関する基本的な考え方を、表 D.3 に示す。これは、どの評価対象とする放射化金属等の部位が中性子の照射を受けるか、そして放射能の一様性にも影響を与える。 表 D.3—評価対象放射化金属等の炉内外での配置位置の設定に関わる基本的な考え方			
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	評価対象とする放射化金属等の一例	考慮する照射位置の出現確率の分布
配置の移動	運転サイクルごとのローテーションなどによる配置位置変化	チャンネルボックス ^{b)} , など	配置位置のローテーションなどの実際の分布又は代表的なパターン ^{f)}
	燃焼制御のための挿入位置などの配置位置変化	PWR 制御棒 ^{c)} , BWR 制御棒 ^{d)} など	挿入位置などの実際の分布又は代表的なパターン ^{f)}
配置が固定	照射期間中は、配置位置の変化がないこと	シュラウド, 上部格子板など ^{e)}	固定値
注 ^{a)} 評価対象とする放射化金属等の原子炉内外でのローテーションによる配置位置の移動の有無の条件。 ^{b)} 原子炉内での運転サイクルごとにローテーションした配置位置（中央部、最外周など）ごとの考慮が必要である。 ^{c)} PWR 制御棒では、定格出力運転時の原子炉の軸方向の配置位置（定格出力運転時の制御位置、及び定格出力運転時の制御棒全引抜き位置）ごとの考慮が必要である。 ^{d)} BWR 制御棒では、原子炉内での配置位置、及び定格出力運転時の炉心内挿入位置に対応する挿入時間の考慮が必要である。 ^{e)} 全照射期間において、原子炉内外で固定された状態で照射される。 ^{f)} ローテーションした配置位置、挿入位置などの実際の頻度分布にて設定、又は代表的な（例えば、放射能濃度評価結果が大きくなるような）配置位置のパターンにて設定する場合もある。			

(2) 検討の結果

運転サイクル等による設置位置の移動の有無を踏まえて、評価対象とする放射化金属

等の照射位置（放射化計算をする位置と理解）を設定する方法を示したものであり、評価対象放射化金属等の炉内外での配置位置の設定に関わる基本的な考え方を「表 D. 3—評価対象放射化金属等の炉内外での配置位置の設定に関わる基本的な考え方」のとおりとし、「考慮する照射位置の出現確率の分布」において、配置が固定された放射化金属等（シェラウド、上部格子板）については固定値としている。

- ① 「考慮する照射位置の出現確率の分布」について、配置位置が移動する場合には実際の分布又は代表的なパターンを用いるとしているが、代表的なパターンとはどのように代表性が担保されているのか（例えば、炉型の違い、運転サイクルの違い）について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁵³。

（回答待ち）

- ② 「代表的なパターン」とは脚注 f によると「例えば、放射能濃度評価結果が大きくなるような」とあるが、「D. 4. 1 元素成分条件の設定方法の選定」には「代表的な元素分析データ（元素分析データの平均値など）」と規定されている。放射能濃度決定標準全体を通じて「代表的」の意味について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁵⁴。

（回答待ち）

- ③ 各項目の「など」の内訳について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁵⁵。

（回答待ち）

（３）適用に当たっての条件 追而

⁵³ 第●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資料●-●-● 回答 8(1)

⁵⁴ 第●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資料●-●-● 回答 8(2)

⁵⁵ 第●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資料●-●-● 回答 8(3)

4. 6. 7 元素成分条件の設定

4. 6. 7. 1 元素成分条件の設定方式の選定

元素成分条件の設定方式の選定は「D. 4. 1 元素成分条件の設定方式の選定」に規定している

(1) 規定の内容

D. 4 元素成分条件の設定

D. 4. 1 元素成分条件の設定方式の選定

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、収集した元素分析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。

- － 評価対象とする放射化金属等の代表的な元素分析データ（元素分析データの平均値など）で設定する方式。
- － 評価対象とする放射化金属等の元素分析データの濃度分布又は濃度範囲を設定する方式。

(2) 検討の結果

元素成分条件の設定方式として、放射化金属等（厳密には、放射化する前の放射化金属等と推察）の代表的な元素成分データで設定する方法と、元素分析データの濃度分布又は濃度範囲を設定する方式を示したものである。

日本原子力学会は、収集した元素分析データおよ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いるが、附属書 D は区間推定法のデータ設定方法を規定しており、適切な評価結果を得るには元素分析データに基づく元素成分条件もいずれか片方のみではなく両方を選択することが適切である。

- ・評価対象とする放射化金属等の代表的な元素分析データ（元素分析データの平均値など）で設定する方式。
- ・評価対象とする放射化金属等の元素分析データの濃度分布又は濃度範囲を設定する方式。

したがって、「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、収集した元素分析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。」とあるのは、「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、収集した元素分析データに基づき、次の両者を選択する。」と読み替える。

(3) 適用に当たっての条件

追而

4. 6. 7. 2 各元素の濃度分布基本形状の設定

各元素の濃度分布基本形状の設定は「D. 4. 2 各元素の濃度分布基本形状の設定」に規定している。

(1) 規定の内容

D. 4. 2 各元素の濃度分布基本形状の設定

各材料中に含まれる各元素の濃度分布の基本形状は、材料製造時の各成分の管理条件を考慮して設定できると考えられ、その基本的な考え方を、表 D. 4 に示す。

材料中の各元素は、一般に、材料製造時に成分管理目標値などを定めて調整を行う“主成分元素”及び“不純物成分元素”と、成分管理目標値などが定まっていない“微量成分元素”とに大別できる。したがって、各元素の濃度分布の基本形状には、材料製造時の主成分元素としての成分の管理目標値などの有無によって、正規分布又は対数正規分布のいずれかが選択できる。

なお、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。また、収集した元素分析データの濃度分布を考慮して、最終的に各元素の濃度分布の基本形状を設定できる。

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) 検討の結果

各材料（放射化前の放射化金属等を指すものと推察）中に含まれる各元素について、濃度分布の基本形状の設定の考え方を示したものであり、材料中の各元素は、主成分元素、不純物元素、微量成分元素の3つに大別され、主成分元素は正規分布、不純物成分元素と微量成分元素については対数正規分布に従うとしている。

- ① 「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」において、不純物成分元素及び微量成分元素については、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として対数正規分布に従

うとしている根拠について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁵⁶。

(回答待ち)

また、不純物元素について、その濃度上限が管理されるものであるにも関わらず、その上限値ではなく対数正規分布に従うと設定していることについて、日本原子力学会は、以下のように説明している⁵⁷。

(回答待ち)

なお、説明資料「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」⁵⁸では正規分布に従うとして設定している。

- 「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。

(3) 適用に当たっての条件

追而

⁵⁶ 第●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資料●-● 回答 9

⁵⁷ 第●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資料●-● 回答 9

⁵⁸ 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資料 1-1、23 頁

4. 6. 7. 3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定

元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定は「D. 4. 3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定」に規定している。

(1) 規定の内容

D. 4. 3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定

元素濃度分布条件の設定には、評価対象とする放射化金属等の材料のロット及び収集した元素分析データの数量に応じて、代表性又は保守性を考慮した上で、次の a) ～d) の濃度分布条件設定方法の適用が望ましい。

なお、標準偏差は、保守性を考慮した上で適切な値を設定すればよいが、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て標準偏差を設定する方法も適用できる。

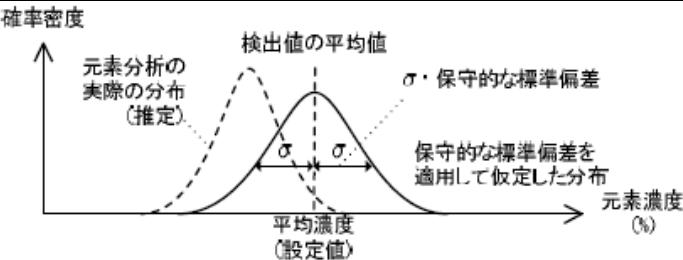
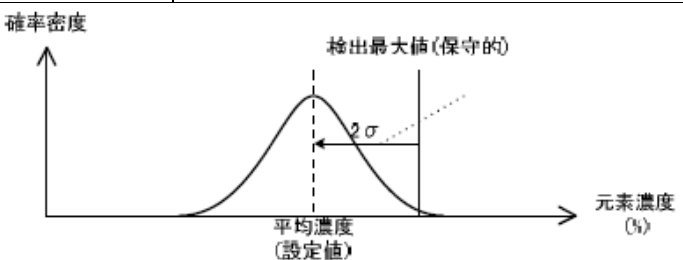
ただし、同一の元素又は化学的性質が類似した元素の分布を参考にする場合は、参考とする元素分析データを収集した上で、参考とした同一の元素の標準偏差に濃度依存性がないこと、及び参考とした化学的性質が類似した元素との間で標準偏差に差異がないことを評価する必要がある。

- a) 元素分析データ数が十分にある場合 評価対象とする放射化金属等（材料）の元素分析データの数に十分あり、元素分析データとしての代表性をもっている場合は、保守性を見込む必要性はなく、元素分析データの平均値、標準偏差、最小値、最大値などを用いて評価対象とする元素成分濃度分布を設定できる。
- b) 元素分析データ数が比較的少ない場合 評価対象とする放射化金属等（材料）の元素分析データの数に十分でない場合もある。この場合、分析データ数の少なさを考慮し、元素分析データの分散の信頼上限を適用するなどの方法によって、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。
- c) 元素分析データ数が非常に少ない場合の設定方法 評価対象とする放射化金属等（材料）の元素分析データの数が 1～2 点（残りは、検出下限値の場合）と非常に少なく、標準偏差などを計算できない場合は、次のいずれかの方法による平均値、標準偏差を設定する方法がある。
 - － 元素分析データの検出値の平均値を推定分布の平均値と仮定し、保守的な標準偏差を適用して、濃度分布を仮定する。
 - － 元素分析データの検出最大値以下の濃度の低い濃度領域で、濃度分布を仮定する。

なお、これら元素分析データ数が非常に少ない場合の、具体的な元素成分の濃度分布を設定するために必要となる平均値及び標準偏差の決定方法の考え方を、表 D. 5 に示す。

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

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）

	 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	
検出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最大値以下の濃度の低い領域で濃度分布を設定する方法	例 2 に示すとおり、 <u>平均濃度</u>： 分析した数が比較的多い場合は、保守的に検出最大値を濃度分布の$+2\sigma$（標準偏差）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。 <u>濃度分布の標準偏差</u>： 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）。
	 例 2 検出最大値から分布を評価する場合のイメージ	

d) 元素分析データに検出下限値しかない場合 評価対象とする放射化金属等（材料）の元素分析データが全て検出下限値以下の場合は、次のいずれかの方法で平均値、標準偏差を設定できる。

— 元素分析データの検出下限値を平均値としてそのまま使用する。

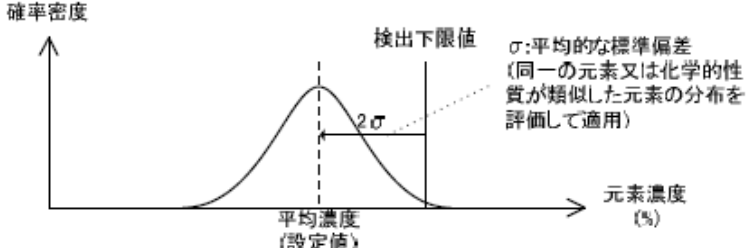
— 元素分析データの検出下限値を最大値とする濃度分布を、既知の類似試料の標準偏差を利用して設定する。

— 照射履歴が明確な評価対象とする放射化金属等の核種の放射能濃度データから、起源元素の濃度を推定する。

なお、検出下限値しかない場合の具体的な元素成分の、濃度分布を設定するために必要となる平均値及び標準偏差の決定方法の考え方を、表 D. 6 に示す。

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
検出下限値をそのまま使用する方法	元素分析データの検出下限値を平均値として使用する方法。	確認された最小の検出下限値などで元素濃度を設定すること自体で、多大な保守性を見込む。
検出下限値以下で、	元素分析データの検出下限値を最大値とする濃度	例 3 に示すとおり、 <u>平均濃度</u> ：

元素の濃度分布を仮定する方法	分布を、既知の試料の標準偏差を利用して設定する方法。	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。 <u>濃度分布の標準偏差：</u> 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）。
	 例3 検出下限値以下で分布を設定する場合のイメージ	
放射化学分析結果から推定する方法	照射履歴が明確な評価対象とする放射化金属等の核種の放射能濃度データから、起源元素の濃度を推定する方法。	放射化学分析結果などを鑑み、必要に応じて、適切な保守性を考慮する。

(2) 検討の結果

元素分析データ数に応じた元素濃度分布条件の設定方法について、元素成分は収集できるデータ数に限りが生じるとして、分析によって収集できた、検出数が比較的小さい場合と非常に少ない場合に対して、その保守性を設定する方法を示している。

- ・データ数が比較的小さい場合

平均濃度：検出値の平均値の信頼上限とすることで、保守性を見込む。

濃度分布の標準偏差：保守的な標準偏差を適用する。

- ・データ数が非常に少ない場合（その1）

平均濃度：検出値の平均値とする。

濃度分布の標準偏差：保守的な標準偏差を適用する。

- ・データ数が非常に少ない場合（その2）

平均濃度：保守的に検出最大値を濃度分布の $+2\sigma$ （標準偏差）の値で設定する。

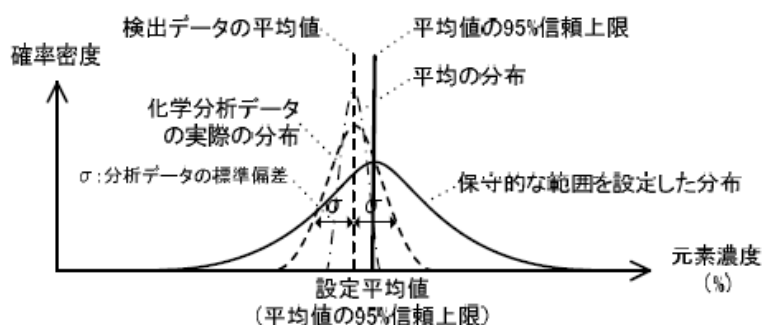
濃度分布の標準偏差：保守的な標準偏差を適用することによって濃度分布条件を設定する。

- ① 「D.4.3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定」には、元素分析データ数が「十分にある場合」、「比較的小さい場合」、「非常に少ない場合」に分けて規定さ

れている。「非常に少ない場合」は元素分析データ数が1～2点とあるが、「十分にある場合」及び「比較的少ない場合」の具体的なデータ数について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁵⁹。

(回答待ち)

- ② 「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」としている。例示の図(下図参照)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」が示されているが、この元素成分濃度分布に基づく放射化計算の範囲について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁶⁰。



例 元素分析データ数が比較的少ない場合の濃度分布の設定のイメージ

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。

⁵⁹ 第●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資料●-●-● 回答 11

⁶⁰ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 13

理論的方法	元素成分条件 (本文 6. 1. 2. 2)	中性子条件 (本文 6. 1. 2. 3)	照射条件 (本文 6. 1. 2. 4)
点推定法 (特定放射 化物の代表 データによ る設定)	入力用基礎データベ ースの起源元素濃度分布 を踏まえ、 <u>保守性(信頼 上限値の適用など)</u> を勘 案して設定する。	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、 <u>保守性(最大 条件の適用など)</u> 勘案し て設定する。	入力用基礎データベ ースの照射時間分布を踏 まえ、 <u>保守性(最大時間 の適用など)</u> を勘案し て設定する。
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)	<u>入力用設定分布からの ランダムサンプリング</u> ・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 返して設定する。 ・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)	<u>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</u> ・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。	<u>入力用設定分布からの ランダムサンプリング</u> ・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

(追而)

- ③ 「c) 元素分析データ数が非常に少ない場合の設定方法」は、二つの仮定方法のいずれかで平均値、標準偏差を設定する方法があるとしている。それぞれの設定方法に基づく評価結果の同等性について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁶¹。

(回答待ち)

- 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 -2σ に設定している。

⁶¹ 第●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資料●-●-● 回答 10

- a) この方法が適用できるのは、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るが、そのデータ数について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁶²。

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。

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。

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。

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る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。

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。

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

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

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	9	7.3×10^{-4} wt%	7.0×10^{-3} wt%

⁶² 第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 14(1)

		GD-MS			
Th	Sr-90	ICP-AES	9	5.0×10^{-7} wt%	1.0×10^{-4} wt%
U	Tc-99	ICP-AES	9	5.0×10^{-7} wt%	2.0×10^{-4} wt%
	I-129				
	Cs-137				
	α 核種				
Co ¹⁾	Co-60 Ni-63	ICP-AES	21	7.6×10^{-4} wt%	—
Nb ¹⁾	Nb-94	ICP-MS ICP-AES	21	3.9×10^{-3} wt%	—
Mo ¹⁾	Tc-99	ICP-AES	21	7.6×10^{-4} wt%	—

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）

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

注1 参考までに、ジルカロイ4のND値を示す。

- 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。

- b) 検出データが1点の場合に、元素濃度分布の標準偏差 σ の決定方法について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁶³。

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。

（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。

⁶³ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料2-1-1 回答14(2)

これを用いた濃度分布の設定は、図 H.1 に示すとおり、保守的に 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＋2 σ （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“平均的な標準偏差”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、検出最大値以下の領域で検出最大値から約 3 σ の位置を平均値とした分布で存在すると考えられます。これを検出最大値から 2 σ 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。（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となる“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。

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 2 σ の位置）	①検出値で設定 ②検出値以下の領域で設定（検出値から 2 σ 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
標準偏差の適用の考え方	①－ 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

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。

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。

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などを踏まえた上で、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。

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。

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、標準偏差の最小値の適用は、保守的すぎると考えられますので、表 H.1 に示すように、データが示す正規性を評価することで 99%信頼下限値の標準偏差を適用できると考えます。

○「通常、推定される濃度の分布は、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る。」とする根拠について説明してください。

⑤「d) 元素分析データに検出下限値しかない場合」は、三つの方法のいずれかで平均値、標準偏差を設定できるとしている。それぞれの設定方法に基づく評価結果の同等性について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁶⁴。

(回答待ち)

⑥「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 に設定している。

a) この方法が適用できるのは、N.D. 値のデータ数が十分にある場合と想定されるが、そのデータ数について、日本原子力学会は、上記④a) と同じ理由であると説明している⁶⁵。

(追而)

b) 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について、日本原子力学会は、上記④a) と同じ理由であると説明している⁶⁶。

(追而)

c) 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」とあるが、具体的な求め方について日本原子力学会は、上記④a) と同じ理由であると説明している⁶⁷。

(追而)

⁶⁴ 第●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資料●-●-● 回答 12

⁶⁵ 第●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資料●-●-● 回答 15(1)

⁶⁶ 第●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資料●-●-● 回答 15(1)

⁶⁷ 第●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資料●-●-● 回答 15(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。

(3) 適用に当たっての条件
追而

4. 6. 8 中性子条件の設定

4. 6. 8. 1 中性子条件の設定における基本事項

中性子条件の設定における基本事項は「D. 5. 1 中性条件の設定における基本事項」に規定している。

(1) 規定の内容

D. 5 中性子条件の設定		
D. 5. 1 中性子条件の設定における基本事項		
中性子条件は、“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”に大別される。まず、中性子フルエンス率は、原子炉型式、燃料条件、評価対象とする放射化金属等の種類及び部位などによって変化する。このため、中性子フルエンス率を計算で求めるには、実際の原子炉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。 中性子フルエンス率を設定する場合に考慮が必要となる基本的な事項を、表 D. 7 に示す。		
表 D. 7—中性子フルエンス率の設定における基本的な考慮事項		
項目		考慮する必要のある主な事項
燃料の条件		— 濃縮度 ^{a)} — 燃焼度 ^{a)} — 燃料の種類 ^{b)}
炉内位置	軸方向	— 評価対象とする放射化金属等自身の軸方向位置 ^{d)} — 評価対象とする放射化金属等自身の軸方向（上下）の移動 ^{e)}
	径方向	— 評価対象とする放射化金属等自身の径方向位置 ^{d)} — 評価対象とする放射化金属等自身の径方向の移動 ^{e)}
その他		— ボイド率（BWR） ^{f)} — ホウ素濃度（PWR） — 温度分布 — ディプレッション効果 ^{g)}
注 ^{a)} 評価対象とする放射化金属等の照射期間中に使用した燃料の濃縮度及び燃焼度。 ^{b)} 燃料の種類とは、例えば、UO₂、MOX。 ^{c)} 中性子発生源、評価対象とする放射化金属等、その他の減速、反射、吸収、漏れなどの中性子のふるまいに影響する物質の位置関係。 ^{d)} 評価対象とする放射化金属等自身の部位で中性子フルエンス率が変化する場合。評価対象とする放射化金属等が原子炉内及び原子炉外にわたる場合も該当する。 ^{e)} 評価対象とする放射化金属等が中性子フルエンス率の変化する範囲で移動する場合。 ^{f)} BWR の場合（BWR では、炉心部で発生した蒸気（ボイド）量が増加するに従って核反応が抑制され出力が低下する。PWR の通常の運転条件では、ボイドは発生しない。） ^{g)} 評価対象とする放射化金属等が強い中性子吸収体である場合（例 制御棒など）は、ディプレッション効果（中性子フルエンス率分布の歪み（ゆがみ））が生じるため、中性子フルエンス率への吸収効果に留意する。		

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。

ただし、既存の断面積ライブラリを使用する場合には、原子炉型式及び燃料組成が類似していればライブラリ間の差異が放射化計算に与える基本的な影響は、小さいと考えられるものの、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。

(2) 検討の結果

放射化計算に必要な中性子条件を、中性子フルエンス率、中性子スペクトル、放射化断面積に大別し、それぞれの設定における考慮事項を示している。中性子フルエンス率については、燃料の条件、評価対象物の炉内の設置位置、ボイド率等のその他の条件を考慮することとしている。放射化断面積については、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としている。

- ① 「群定数」及び「1群実効断面積」については「3用語及び定義」において記載がないが、日本原子力学会は、以下のように説明している⁶⁸。

(回答待ち)

- ② 「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。」に関し、具体的な方法について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁶⁹。

(回答待ち)

- ③ 「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。」に関し、具体的な実施内容と、1群実効断面積のみでよい理由について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁷⁰。

(回答待ち)

- ④ 中性子条件を「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」に大別しているが、本項には中性子フルエンス率と放射化断面積の設定における基本的な考慮事項が記載されている。中性子スペクトルの設定における基本的な考慮事項について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁷¹。

⁶⁸ 第●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資料●-●-● 回答 13(1)

⁶⁹ 第●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資料●-●-● 回答 13(2)

⁷⁰ 第●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資料●-●-● 回答 13(3)

⁷¹ 第●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資料●-●-● 回答 13(4)

- ⑤ 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、使用する核データライブラリによって計算結果に差異が生じると想定される。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について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁷²。

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ライブラリであり、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。

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).

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。

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。

JENDL-4、JENDL-3.3、JENDL-3.2、JENDL-3、JENDL/AD-2017³⁾

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）

⁷² 第 2 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 12

- 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。
- 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。

(3) 適用に当たっての条件

追而

4. 6. 8. 2 中性子フルエンス率などの設定方法

中性子フルエンス率等の設定方法は「D. 5. 2 中性子フルエンス率などの設定方法」に規定している。

(1) 規定の内容

D. 5. 2 中性子フルエンス率などの設定方法

中性子フルエンス率は、適用する放射能濃度決定方法に応じ、次のいずれかの方法による設定がある。

a) 個別に条件設定する方法 中性子の照射履歴に基づき、評価対象とする放射化金属等ごとに、中性子条件を詳細に設定する方法。

なお、放射化断面積については、中性子スペクトルの代表性を確認した上で、値を設定することもある。

b) 代表条件を設定する方法 中性子の照射履歴に基づき、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。

なお、濃度比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は、個別の条件の代わりに、複数の評価対象とする放射化金属等を適切に代表する条件範囲を設定することもある。

さらに、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の評価を行う場合には、中性子フルエンス率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（信頼性のある放射化計算コード）を適用することがある。中性子計算は、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）、ボルツマンの中性子輸送方程式を解く手法が主流であり、Sn 法（微分型中性子輸送方程式）、モンテカルロ法、直接積分法などが該当する。これらの計算手法に加えて、外挿計算法、アルベド輸送計算法などを、それぞれの特徴に合わせて使用する。

例 1 断面積ライブラリ（核データ）としては、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 などがある。

例 2 計算コードとしては、Sn 法を用いた輸送計算コードには、米国オークリッジ国立研究所の ANISN、DOT、TORT が、モンテカルロ法を用いた輸送計算コードには、米国ロスアラモス国立研究所の MCNP がある。

(2) 検討の結果

中性子フルエンス率の設定方法として、中性子の照射履歴に基づき、評価対象とする放射化金属等毎に個別に条件設定する方法と、中性子の照射履歴に基づき、複数の評価対象となる放射化金属等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を示している。

- ① 「b) 代表条件を設定する方法」において、「中性子の照射履歴に基づき、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」の「適切に代表する中性子条件」について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁷³。

⁷³ 第●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資料●-●-● 回答 14(1)

(回答待ち)

- ② 中性子フルエンス率は、適用する放射能濃度決定方法に応じ、「a) 個別に条件設定する方法」と「b) 代表条件を設定する方法」のいずれかの方法による設定があり、その選定は中性子の照射履歴に基づくとしている。その判断基準について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁷⁴。

(回答待ち)

- ③ 「b) 代表条件を設定する方法」の下記に示す各種中性子計算方法に関し、同等な結果を得るための条件について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁷⁵。

- ・ Sn 法（微分型中性子輸送方程式）
- ・ モンテカルロ法
- ・ 直接積分法

上記に加えて使用するもの

- ・ 外挿計算法
- ・ アルベド輸送計算法

(回答待ち)

- ④ 「b) 代表条件を設定する方法」において、「さらに、(中略)中性子フルエンス率の評価を行う場合には、(中略)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」と規定している。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について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁷⁶。

(回答待ち)

- ⑤ 「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 が挙げられている。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について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁷⁷。

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。

○ 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。

○ 「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

⁷⁴ 第●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資料●-●-● 回答 14(2) 及び回答 15

⁷⁵ 第●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資料●-●-● 回答 14(3)

⁷⁶ 第●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資料●-●-● 回答 14(4)

⁷⁷ 第2回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 2-1-1 回答 16

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」について、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説明してください。

- 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。
- 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。
- 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。

（３）適用に当たっての条件
追而

4. 6. 9 照射条件の設定

4. 6. 9. 1 中性子の照射条件設定の基本的考え方

中性子の照射条件設定の基本的考え方は「D. 6. 1 中性子の照射条件設定の基本的考え方」に規定している。

(1) 規定の内容

D. 6 照射条件の設定

D. 6. 1 中性子の照射条件設定の基本的考え方

評価対象とする放射化金属等の中性子の照射時間及び原子炉の供用期間中の中性子の照射停止時間を設定する。

なお、⁶⁰Co（半減期 5. 27 年）などの比較的短半減期（数年以下）の核種に対しては、長期間にわたる中性子の照射を受ける場合は、照射期間中の核種の減衰の影響を考慮する必要がある。照射時間及び原子炉の供用期間中の照射停止時間の設定の基本的な考え方を、表 D. 8 に示す。

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

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	—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	—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	—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	—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。	

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。

(2) 検討の結果

評価対象とする放射化金属等の中性子の照射時間及び原子炉の供用期間中の中性子の

照射停止時間を設定する方法を示している。照射時間は頻度分布による設定又は個別値による設定、原子炉供用期間中の照射停止時間は均等設定又は個別設定としていること、比較的短半減期（数年以下）の核種に対しては、核種の減衰の影響の考慮をすることとしている。

- ①「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」の照射時間（合計）は照射条件の設定方法を、頻度分布による設定の場合について、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）を設定すると規定している。実際の運転実績から考えられる照射実績は何らかの分布に従うものなのか、また分布の選定はどのような判断基準で行うのかについて、日本原子力学会は、以下のように説明している⁷⁸。

（回答待ち）

（３）適用に当たっての条件 追而

⁷⁸ 第●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参考資料●-●-● 回答 16

4. 6. 9. 2 中性子の照射条件設定における考慮事項

中性子の照射における考慮事項は「D. 6. 2 中性子の照射条件設定における考慮事項」に規定している。

(1) 規定の内容

D. 6. 2 中性子の照射条件設定における考慮事項

D. 6. 2. 1 中性子の照射における考慮事項

照射条件である中性子の照射時間及び中性子の照射停止時間については、中性子の照射履歴に基づき、放射能濃度決定方法の種類に応じて、評価対象とする放射化金属等ごとに照射条件を詳細に、又は複数の評価対象とする放射化金属等を適切に代表する条件（又は放射能濃度評価結果を大きくする保守的な条件）の設定が必要となる。また、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は、個別の条件の代わりに、複数の評価対象とする放射化金属等を適切に代表する条件範囲を設定することもある。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を、表 D. 9 に示す。

表 D. 9—照射条件の設定において考慮が必要な基本事項
(略)

なお、表 D. 9 では、照射条件を設定する場合に考慮する基本的な事項を示したが、基本的な事項については、次の考え方で整理を行うことができる。

D. 6. 2. 2 中性子の照射時間

中性子の照射時間は、放射能濃度に大きな影響を与えるため、評価対象とする放射化金属等の放射能濃度を決定する場合は、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必要がある。

一方、中性子の照射時間の長さが放射能濃度比に与える影響については、原子力発電所の供用期間中に発生する廃棄物の照射時間（～10 年連続照射）程度であれば、影響は比較的小さい。しかしながら、解体時などに発生する廃棄物の中性子の照射時間（例えば、数十年にわたる長期照射が相当）になると、 ^{60}Co などの比較的短半減期核種に関しては、放射能濃度に対する影響が生じるため、これら比較的短半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。

D. 6. 2. 3 照射終了後の時間（全ての照射が終了した後の）

^{60}Co のような比較的短半減期の核種は、中性子の照射が完全に終了した後の減衰の影響を受けるため、減衰期間を適切に考慮した結果の補正を行う必要がある（ただし、減衰補正の効果が小さい場合は、中性子の照射停止時の放射化計算結果をそのまま適用してもよい）。

なお、放射能濃度比を用いる場合において、Key 核種及び難測定核種の組合せに、比較的短半減期核種及び比較的長半減期核種の組合せを利用する場合は、Key 核種の非破壊外部測定結果などに適切な減衰補正を考慮する必要がある。

例 Key 核種に ^{60}Co を適用する場合は、非破壊による外部から測定した ^{60}Co の放射能濃度を廃棄物発生日に減衰補正し、これに放射化計算結果で算定した“濃度比”を乗じて廃棄物発生日での難測定核種濃度を算定した上で、難測定核種の放

射能濃度を評価したい日の放射能濃度に減衰補正するなどの考慮が必要である。

D. 6. 2. 4 照射停止時間（供用期間中における）

中性子の照射停止時間の合計が同一であれば、原子炉の供用期間中の照射が停止している各々の時間の大小は、 ^{60}Co のような比較的短半減期の核種であっても、放射能濃度、濃度比のいずれに対する影響も基本的に小さい。このため、放射化計算の条件を設定する場合は、実態に合わせた中性子の照射停止時間（合計）を設定した上で、これを中性子の照射期間中に均等に配分するなどの方法を適用することも適切である。

ただし、中性子の照射停止時間の合計が同一であっても、長期間の中性子の照射停止時間が含まれる場合（B. 4. 2 参照）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もあるため、長期間の中性子の照射停止を行った場合には、この点を配慮する必要がある。

（２）検討の結果

濃度比法、換算係数法、濃度分布評価法によって決定する場合は、個別条件の代わりに、複数の評価対象とする放射化金属等を適切に代表する条件範囲を設定することもあるとして、照射条件を設定する場合に必要な基本的な事項を示している。

「D. 6. 2. 1 中性子の照射における考慮事項」は、主に中性子の照射停止時間のうち、照射終了後の減衰補正について規定している。「D. 6. 2. 2 中性子の照射時間」は、「D. 6. 2. 3 照射終了後の時間（全ての照射が終了した後の）」は、比較的短半減期の核種について、減衰器間を適切に考慮した結果の補正を行う必要があると示している。「D. 6. 2. 4 照射停止時間（供用期間中における）」は、中性子の照射停止時間の影響について言及したものであるが、長期間の中性子の照射停止時間が含まれる場合は、減衰による放射能濃度低下の影響が大きい場合もあることを示している。

①「D. 6. 2. 2 中性子の照射時間」において、「比較的短半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」と規定されている。その方法について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁷⁹。

（回答待ち）

○ 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。中性子の照射時間の長さが放射能濃度比に与える影響が比較的小さい範囲として 10 年連続照射以下としています。その理由と「比較的小さい放射能濃度比に与える影響」を説明してください。

○ 「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

⁷⁹ 第●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資料●-●-● 回答 17

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、「長期間の具体的期間」と「再起動したしばらくの期間」は具体的にどの程度を指すのか説明してください。

(3) 適用に当たっての条件
追而

4. 7 追而

5. 放射能濃度決定標準の適用に当たっての条件
追而

6. 日本原子力学会規格の策定に関する要望事項
追而

添付資料
追而

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

方法	換算係数法	濃度比法	濃度分布評価法
評価のイメージ			
基本的な特徴	管理指標 [燃焼度（通常、燃料は燃焼度で管理される）] と放射化金属等中に生成する核種の放射能濃度とには、密接な関係がある。 放射化金属等の内部に含まれる難測定核種の放射能濃度は、実際の原子炉の条件範囲（例えば、元素組成、中性子フルエンス率、照射条件）を考慮した放射化計算によって得られる換算係数と管理指標（燃焼度など）とを乗じることで、計算できる。	原子炉構成材の同じ部位が放射化した際に生成する核種間には、全ての放射化条件が同じため、特別な関係がある。 難測定核種と Key 核種間との濃度の比は、実際の原子炉の条件範囲を考慮した放射化計算によって評価できる。	元素成分条件、中性子の照射履歴は、固定された原子炉及び構成材では、ほとんど同じで、唯一、個々の部位での中性子フルエンス率だけが異なっている。核種の放射能濃度の違いは、中性子フルエンス率の違いによって生まれる。 構成材中の放射能濃度は、実態の原子炉の条件及び機材の位置の範囲を考慮した放射化計算によって評価できる。
代表的な評価対象とする放射化金属等	チャンネルボックス、制御棒、バーナブルポイズンなど。	チャンネルボックス、制御棒、バーナブルポイズン、黒鉛、シュラウド、圧力容器など。	黒鉛、シュラウド、圧力容器など。
注記 “難測定核種” とは、廃棄体などの外部からの非破壊測定が困難な放射性核種。			