

令和6年3月5日 原規技発第2403055号

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について

技術基盤課

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を令和5年度第65回原子力規制委員会(令和6年2月21日(同年2月28日付けで一部修正))にて別添のとおり報告した。

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

令和6年2月

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

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 技術評価の範囲と手順.....	3
2. 2 第二種廃棄物埋設事業規則との対応.....	4
3. 放射能濃度決定標準の技術的妥当性の確認方法.....	6
3. 1 技術評価の対象となる規定の選定.....	6
4. 技術評価の内容.....	10
4. 1 評価対象核種.....	10
4. 2 放射能濃度決定方法の種類と方法.....	18
4. 2. 1 放射能濃度決定方法の種類.....	18
4. 2. 2 理論計算法の種類.....	21
4. 2. 3 点推定法.....	25
4. 2. 4 区間推定法.....	27
4. 2. 5 換算係数法.....	36
4. 2. 6 濃度比法.....	36
4. 2. 7 濃度分布評価法.....	39
4. 3 放射化計算の基本手順.....	42
4. 4 放射化計算の条件設定方法.....	43
4. 4. 1 元素成分条件の設定方法.....	44
4. 4. 2 中性子条件の設定方法.....	53
4. 4. 3 照射条件の設定方法.....	59
4. 5 放射化計算方法.....	61
4. 5. 1 放射化計算の計算数の設定.....	65
4. 5. 2 表面汚染の取扱い.....	66
4. 5. 3 理論的方法の妥当性確認.....	67
4. 5. 4 数値の丸め方.....	70
4. 5. 5 放射能濃度評価の裕度.....	71
4. 6 記録.....	72
5. 日本原子力学会規格の策定に関する要望事項.....	72
添付資料.....	73
別紙.....	76
I. 本文の技術評価対象外項目及び解説に関する気付き事項.....	76

II. 附属書に関する気付き事項等.....	82
1. 附属書 A (参考) 理論計算法の適用方法及び手順	82
2. 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.....	93
3. 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 ...	98
4. 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	99
5. 附属書 E (参考) 原廃棄物分析法の基本的な適用方法	152
6. 附属書 F (参考) 放射化計算を行う場合の計算例	154
7. 附属書 G (参考) 放射化計算の入力条件の設定例	155
8. 附属書 H (参考) 検出困難元素の濃度分布評価方法.....	180
9. 附属書 I (参考) 濃度比を用いる場合の計算例.....	193
10. 附属書 J (参考) 換算係数を用いる場合の計算例.....	219
11. 附属書 K (参考) 濃度分布評価法によって決定する場合の計算例.....	225
12. 附属書 L (参考) 不確かさなどによる計算結果の評価	227
13. 附属書 M (参考) 廃棄体中の放射能濃度の確認に対する基本的な考え方	227
14. 附属書 N (参考) 理論計算法の記録の例.....	229
15. 附属書 O (参考) 原廃棄物分析法の記録の例.....	230
別添 1 別紙に引用されている主な表と図.....	232
別添 2 換算係数法計算例 (BWRチャンネルボックス) の中性子条件設定について	250
別添 3 放射化計算結果の妥当性確認について.....	256

1. はじめに

性能規定化された規制要求に対する容認可能な実施方法として、許認可申請図書において引用される日本原子力学会、日本機械学会及び日本電気協会（以下「3学協会」という。）等の民間規格について、あらかじめ評価しておくことは、効率的な審査の実施に資すると考えられる。

原子力規制委員会は、平成30年に民間規格の活用について見直しを行い「原子力規制委員会における民間規格の活用について」（平成30年6月6日原子力規制委員会了承）としてとりまとめている。この中で、技術評価は、3学協会の意見を参考に規則解釈等の改訂が必要となるものの存否を原子力規制庁において検討し、被規制者から意見（技術評価を希望する3学協会規格）を聴取することとされた。

これを踏まえ、令和3年に公開の会合¹において、被規制者から技術評価を希望する3学協会規格を、3学協会から技術評価を行うに際しての参考意見を聴取するとともに、規制執行部局の意向を確認した結果、令和3年度の技術評価の対象として、「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（AESJ-SCF015:2019）」（以下「放射能濃度決定標準」という。）を選定し、これらの技術評価を行うことについて原子力規制委員会の了承を得た²。

本書は、放射能濃度決定標準の技術評価について取りまとめたものである³。

2. 放射能濃度決定標準の技術評価に当たって

2. 1 技術評価の範囲と手順

放射能濃度決定標準の技術評価は以下に示す範囲と手順により行う。

- ① 技術評価は、本文を対象とする。なお、附属書（参考）においても必要と判断した場合には、評価を行う。具体的対象については、「3. 1 技術評価の対象となる規定の選定」参照。
- ② 解説は、原則として技術評価の対象外であるが、記載内容を精査し、規格本文における規定内容への充足性に関係する場合には、技術評価の対象とする。
- ③ 検討に当たっては、原子力規制委員会委員、外部専門家、原子力規制庁職員及び日本原子力研究開発機構安全研究センターの職員から構成される「中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム」（備考参照）

¹ 第15回新規制要件に関する事業者意見の聴取に係る会合（令和3年1月22日）

² 令和3年度第15回原子力規制委員会（令和3年6月23日）

³ 令和5年度第62回原子力規制委員会（令和6年1月31日）において、放射能濃度決定標準に関する技術評価書の案及び同技術評価書の案を踏まえた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の解釈の制定案の了承を諮るとともに、これらの案に対する意見公募の実施の了承を諮った。同委員会における議論の結果、現段階では、技術評価書の案及び二種埋設事業規則解釈の制定案の了承を見送ることとし、今後の日本原子力学会による標準の改定に資するよう、技術評価の結果を報告書として取りまとめた。

を設置して検討を行い、技術評価を行う。

(備考)

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構成員名簿

原子力規制委員会

田中 知 原子力規制委員会委員

外部専門家

渡邊 直子 北海道大学 工学研究院 応用量子科学部門 准教授

富田 英生 名古屋大学 大学院工学研究科 エネルギー理工学専攻 准教授

原子力規制庁

佐藤 暁 技術基盤グループ長

遠山 眞 技術基盤グループ 技術基盤課長

佐々木 晴子 技術基盤グループ 技術基盤課 企画調整官

大塚 伊知郎 技術基盤グループ 放射線・廃棄物研究部門 主任技術研究調査官

佐藤 由子 技術基盤グループ 放射線・廃棄物研究部門 技術研究調査官

古田 美憲 技術基盤グループ 放射線・廃棄物研究部門 技術研究調査官

前田 敏克 原子力規制部 研究炉等審査部門 安全規制調整官

藤澤 博美 技術基盤グループ 技術基盤課 技術参与

川崎 智 技術基盤グループ 放射線・廃棄物研究部門 技術参与

技術支援機関

武田 聖司 日本原子力研究開発機構 安全研究センター
燃料サイクル安全研究ディビジョン
廃棄物・環境安全研究グループリーダー

島田 太郎 日本原子力研究開発機構 安全研究センター
燃料サイクル安全研究ディビジョン
廃棄物・環境安全研究グループ研究主幹

島田 亜佐子 日本原子力研究開発機構 安全研究センター
燃料サイクル安全研究ディビジョン
廃棄物・環境安全研究グループ研究主幹

(令和5年2月21日時点)

2. 2 第二種廃棄物埋設事業規則との対応

法⁴第51条の6第2項において、「廃棄物埋設事業者は、廃棄物埋設を行う場合において

⁴ 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和32年法律第166号）

は、埋設しようとする核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物及びこれに関する保安のための措置が原子力規制委員会規則で定める技術上の基準に適合することについて、原子力規制委員会規則で定めるところにより、原子力規制委員会の確認を受けなければならない。」と規定している。

第二種廃棄物埋設事業規則⁵第8条第1項において、「法第五十一条の六第二項に規定する原子力規制委員会規則で定める技術上の基準は、次の各号に掲げる場合に応じ、当該各号に定めるところによる」とし、同条第2項において廃棄体に係る技術上の基準を規定している。

(放射性廃棄物等の技術上の基準)

第八条 法第五十一条の六第二項に規定する原子力規制委員会規則で定める技術上の基準は、次の各号に掲げる場合に応じ、当該各号に定めるところによる。

一 中深度処分を行う場合 次のいずれにも該当すること。

イ 埋設しようとする放射性廃棄物が原子力施設を設置した工場又は事業所において生じたもの(放射性同位元素等の規制に関する法律(昭和三十二年法律第百六十七号)第三十三条の二の規定により核燃料物質等とみなされた放射性同位元素又は放射性汚染物を含む。)であること。

ロ 埋設しようとする放射性廃棄物が廃棄体であること。

ハ 当該廃棄体が次項各号に掲げる技術上の基準に適合するものであること。

二 (略)

2 廃棄体に係る技術上の基準は、次の各号に掲げるとおりとする。

一 液体状の放射性廃棄物又はイオン交換樹脂、焼却灰、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若しくはこれらを成型した放射性廃棄物にあっては、容器に固型化してあること。

二 固体状の放射性廃棄物(前号に掲げるものを除く。)にあっては、容器に封入し、又は固型化してあること。

三 放射能濃度が法第五十一条の二第一項又は第五十一条の五第一項の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。

四 表面の放射性物質の密度が第十四条第一号ハの表面密度限度の十分の一を超えないこと。

五 中深度処分に係る廃棄体にあっては埋設の終了までの間、ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄体にあっては廃棄物埋設地に定置するまでの間に、廃棄体に含まれる物質により健全性を損なうおそれがないものであること。

六 埋設の終了までの間において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有すること。

七 廃棄物埋設地に定置するまでの間に想定される最大の高さからの落下による衝撃により飛散又は漏えいする放射性物質の量が極めて少ないこと。

八 容易に消えない方法により、廃棄体の表面の目につきやすい箇所に、放射性廃棄物を示す標識を付け、及び当該廃棄体に関して前条第一項の申請書に記載された事項と照合できるような整理番号の表示その他の措置が講じられていること。

九 前各号に定めるもののほか、法第五十一条の二第一項又は第五十一条の五第一項の許可を受けたところによるものであること。

以上より、放射能濃度決定標準と廃棄体の放射能濃度に関する規則要求事項との対応関

⁵ 核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則(昭和63年総理府令第1号)

係については、「法第五十一条の二第一項又は第五十一条の五第一項の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」が該当する。

なお、第二種廃棄物埋設事業規則第6条において、廃棄物埋設施設等の技術上の基準を次のように規定しており、埋設する廃棄体の集合としての総放射能及び区画別放射能が規定されている。

(廃棄物埋設施設等の技術上の基準)

第六条 法第五十一条の六第一項に規定する原子力規制委員会規則で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるとおりとする。

一 埋設を行うことによって、廃棄物埋設施設を設置した事業所に埋設された放射性廃棄物に含まれる放射性物質の種類ごとの総放射能及び区画別放射能が、法第五十一条の二第一項又は第五十一条の五第一項の許可を受けたところによる放射性物質の種類ごとの総放射能及び区画別放射能をそれぞれ超えないこと。

二～八 (略)

3. 放射能濃度決定標準の技術的妥当性の確認方法

3. 1 技術評価の対象となる規定の選定

「民間規格の技術評価の実施に係る計画」(令和3年5月12日原子力規制委員会了承)を踏まえ、放射能濃度決定標準の技術評価を、以下の点を確認すること等により実施する。

放射能濃度決定標準には、原子力発電所から発生する中深度処分対象廃棄物の放射能濃度の決定方法に関する以下の二つの手法が規定されている。

- (a) 理論的方法として、放射化した材料(金属等)を対象とした放射化計算における、評価対象核種及び放射化条件の設定方法
- (b) 実証的方法として、使用済樹脂等の試料分析における、代表性を有する試料の採取方法

したがって、当初は以下の論点について議論することとし、必要に応じ日本原子力学会から説明を求めることとした⁶。

(1) 適用範囲と理論的方法の特徴

- 標準の適用範囲(対象とする炉型及び廃棄物)
- 標準の目的
 - ・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、総放射能及び区画別放射能⁷の設定
 - ・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⁸の確認

⁶ 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 1-2「中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チームにおいて議論する内容について(案)」

⁷ 第二種廃棄物埋設事業規則第2条第1項第1号

⁸ 第二種廃棄物埋設事業規則第8条第2項第3号

- ・政令⁹第 31 条で定める放射性物質¹⁰（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¹¹
 - ・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¹²
- 評価対象核種の選定方法
 - 点推定法と区間推定法の適用範囲と使い分けの判断基準
 - 区間推定法のうち、換算係数法、濃度比法、濃度分布評価法の適用範囲と使い分けの判断基準

対象とする規定

1. 適用範囲（解説 3. 適用範囲を含む）

4. 評価対象とする廃棄物及び評価対象核種

5. 放射能濃度決定方法

附属書 A（参考） 理論計算法の適用方法及び手順

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

- (2) 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
- 起源元素濃度の具体的設定方法
 - 中性子条件の具体的設定方法

対象とする規定

6. 1 理論的方法の手順

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

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

附属書 G（参考） 放射化計算の入力条件の設定例

附属書 H（参考） 検出困難元素の濃度分布評価方法

附属書 I（参考） 濃度比を用いる場合の計算例

附属書 J（参考） 換算係数を用いる場合の計算例

附属書 K（参考） 濃度分布評価法によって決定する場合の計算例

（附属書 L（参考） 不確かさなどによる計算結果の評価）

- (3) 実証的方法のうち原廃棄物分析法の適用方法と廃棄体の放射能濃度の評価方法
- 試料の代表性の確保方法
 - 採取試料数の決定方法
 - 分析手法の妥当性
 - 廃棄体の放射能濃度の評価方法（理論的方法、実証的方法共通）

対象とする規定

6. 2 実証的方法の手順

附属書 E（参考） 原廃棄物分析法の基本的な適用方法

⁹ 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）

¹⁰ C-14、Cl-36、Tc-99、I-129、アルファ線を放出する放射性物質

¹¹ 第二種廃棄物埋設許可基準規則第 8 条第 1 項

¹² 第二種廃棄物埋設許可基準規則第 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」の放射能量）

しかし、第1回から第3回検討チーム会合において、日本原子力学会から説明を受けたところ、最大放射能濃度の算出方法に関する規定と総放射能量の算出方法に関する規定が混在しており、それぞれをどのように算出するのが明確にならなかった。このため、第3回会合において、原子力規制庁より技術評価の対象は、最大放射能濃度の算出方法に限定し総放射能量の算出方法は対象外とすること、第4回会合において、換算係数法については現時点で最大放射能濃度の計算例がなく技術的妥当性を確認することができないことから対象外とすること、また、技術評価に時間を要していることから実証的方法である原廃棄物分析法についても対象外とすることとし、今後の技術評価は、本文規定を対象に実施することとし、本文規定を充足するのに必要な範囲で附属書における記載内容（図、表を含む。）を対象とすることに変更した¹³。したがって、技術評価の対象は、「4 評価対象とする廃棄物及び評価対象核種」、「5 放射能濃度決定方法」、「6 放射能濃度決定方法の手順」、「7 記録」及び「8 品質保証」から選定されることとなる。

以上より、技術評価の対象とする規定の検討を行った。技術評価対象項目の候補を表3-1に示す。このうち、技術評価の対象となる規定の選定において技術評価の対象外としたもの及びその理由は以下のとおりである。

- ① 原廃棄物分析法に関するものは、技術評価に時間を要したことから技術評価の対象外とした（表3-1の9、18、20、24）。
- ② 品質保証活動について、原子力規制委員会は、「原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則（令和2年原子力規制委員会規則第2号）」及び「原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則の解釈（令和元年12月25日原子力規制委員会決定）」を制定し、令和2年4月1日から施行しており、同規則が適用されるので技術評価の対象外とした（表3-1の25）。

技術評価の対象としたもの（上記①及び②以外）については、事項毎に技術的妥当性を検討した。

表 3-1 技術評価対象項目の候補

No.	項目	記載箇所	記載内容
1	評価対象核種	4 評価対象とする廃棄物及び評価対象核種	<ul style="list-style-type: none"> ・評価対象廃棄物は放射化金属等及び使用済樹脂等 ・評価対象核種は申請核種
2	放射能濃度決定方法の種類	5.1 放射能濃度決定方法の適用	<ul style="list-style-type: none"> ・放射化金属等は基本的に理論的方法を適用、ただし、実証的方法、理論的方法と実証的方法との組合せも可 ・使用済樹脂等は実証的方法を適用
3		5.2.1 理論計算法の種類	<ul style="list-style-type: none"> ・放射化金属等の放射能濃度の評価に適用できるのは点推定法と区間推定法 ・詳細は附属書A及び附属書B参照と注記

¹³ 第4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4-3「放射能濃度決定標準の技術評価の進め方の変更について」

4		5.2.2 点推定法	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・詳細は附属書 C 参照と注記
5		5.2.3.1 区間推定法の種類	<ul style="list-style-type: none"> ・区間推定法として理論計算法は換算係数法、濃度比法、濃度分布評価法 ・詳細は附属書 D 参照と注記
6		5.2.3.2 換算係数法	<ul style="list-style-type: none"> ・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能濃度を評価 ・詳細は附属書 D 参照と注記
7		5.2.3.3 濃度比法	<ul style="list-style-type: none"> ・難測定核種と Key 核種との濃度比を算出し、濃度比に Key 核種の放射能濃度を乗じることによって難測定核種の放射能濃度を評価 ・詳細は附属書 D 参照と注記
8		5.2.3.4 濃度分布評価法	<ul style="list-style-type: none"> ・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能濃度の分布を評価し、平均放射能濃度などを評価 ・詳細は附属書 D 参照と注記
9		5.3 実証的方法	<ul style="list-style-type: none"> ・原廃棄物分析法と AESJ-SC-F022:2011 の 5.1.2～5.1.4 の方法と規定 ・詳細は附属書 E 参照と規定
10	放射化計算の基本手順	6.1.1 放射化計算の基本手順	<ul style="list-style-type: none"> ・放射化計算の基本手順は対象・目的などの設定、計算方法の選択、入力パラメータの選択・決定、計算の実施及び計算結果の処理と規定 ・詳細は附属書 A 参照と注記
11	放射化計算の条件設定方法	6.1.2.1 放射化計算の入力条件	<ul style="list-style-type: none"> ・入力パラメータ（元素成分条件、中性子条件、照射条件）及び条件設定の手順は文書化 ・詳細は附属書 C 及び附属書 D 参照と注記
12		6.1.2.2 元素成分条件	<ul style="list-style-type: none"> ・起源元素の選定方法、成分データの収集方法、成分条件の設定方法を規定 ・詳細は附属書 F 及び附属書 G 参照と注記 ・検出困難な元素に関する濃度分布の評価方法は附属書 H を参照と注記
13		6.1.2.3 中性子条件	<ul style="list-style-type: none"> ・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の設定を規定 ・詳細は附属書 F 及び附属書 G 参照と注記
14		6.1.2.4 照射条件	<ul style="list-style-type: none"> ・個別に照射履歴を設定する方法と代表照射履歴を設定する方法を規定 ・詳細は附属書 F 及び附属書 G 参照と注記
15	放射化計算方法	6.1.3.1 放射化計算方法 6.1.3.2 計算用入力条件の設定	<ul style="list-style-type: none"> ・区間推定法を適用する場合は入力条件の分布又は範囲からランダムに抽出して設定するか、又は適切な代表的条件を放射化計算の入力条件として設定 ・詳細は附属書 A、附属書 I、附属書 J 及び

			附属書 K 参照と注記
16		6.1.3.3 放射化計算の計算数の設定	<ul style="list-style-type: none"> 点推定法と区間推定法の放射化計算の必要計算数の設定方法を規定 区間推定法については、詳細は A.4.3 参照と注記
17		6.1.4 表面汚染の取扱い	<ul style="list-style-type: none"> 除染の有無で表面汚染の考慮の必要性を規定
18		6.2 実証的方法の手順	<ul style="list-style-type: none"> 原廃棄物分析法の試料採取方法は廃棄物の均一性が確認できる場合とできない場合の方法を規定 詳細は附属書 E 参照と規定 放射化学分析し、廃棄体の放射能濃度として決定する方法、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規定
19		6.3.1 理論的方法の妥当性確認	<ul style="list-style-type: none"> 理論計算法の近似性の正確さ及び適正さ、相関性の適用性で妥当性を評価 計算の正確さ及び不確かさを評価と規定 詳細は附属書 A 及び附属書 L 参照と注記
20		6.3.2 実証的方法の妥当性確認	<ul style="list-style-type: none"> 分析方法の信頼性、分析の誤差、目的核種の回収率を評価と規定 分析結果の不確かさを評価と規定
21		6.4 数値の丸め方	<ul style="list-style-type: none"> JIS Z 8401:1999 に従うと規定
22		6.5 放射能濃度の評価における裕度	<ul style="list-style-type: none"> 最大放射能濃度を超えないことを確認するために適切な裕度の考慮を規定 詳細は附属書 M 参照と注記
23	記録	7.1 理論的方法の記録	<ul style="list-style-type: none"> 記録は評価対象の放射化金属等、放射化計算方法、計算用入力条件及び計算の設定条件を記した計算書 理論計算法の記録の詳細は附属書 N 参照と注記
24		7.2 実証的方法の記録	<ul style="list-style-type: none"> 記録は評価対象とした廃棄物の代表試料の採取方法、評価対象核種の分析方法、分析値、使用した測定器の校正記録及び評価値を設定した方法 原廃棄物分析法の記録の詳細は附属書 O 参照と注記
25	品質保証	8 品質マネジメントシステム	<ul style="list-style-type: none"> 利用者が規定している品質マネジメントシステムの適用を明確にすると規定

4. 技術評価の内容

4. 1 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¹⁴

<p>4 評価対象とする廃棄物及び評価対象核種</p> <p>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。</p> <p>b) 評価対象核種は、申請核種とする。</p>
<p>(関連規定)</p> <p>序文</p> <p>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。</p> <p>1 適用範囲</p> <p>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。</p> <p>3 用語及び定義</p> <p>この標準で用いる主な用語及び定義は、JIS Z 4001:1999 による。また、統計上の用語は、JIS Z 8101-1:2015 及び JIS Z 8101-2:2015 によるほか、この標準に使用する用語の定義は、次による。</p> <p>3.5 使用済樹脂等</p> <p>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。</p> <p>3.14 放射化金属等</p> <p>原子炉内及び周辺で中性子照射によって放射化された部材、機器。</p> <p>例 制御棒、チャンネルボックス、バーナブルポイズン、炉心支持構造物、生体遮蔽コンクリート、黒鉛など。</p>

(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物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。」と記載されている。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」¹⁵では、適用する評価対象として、「廃棄物の放射能濃度」及び「埋設施設の総埋設放射能」とされている。

一方、第二種廃棄物埋設事業規則、第二種廃棄物埋設許可基準規則¹⁶及び許可基準規

¹⁴ 技術評価の対象ではない関連する規定についても記載している。以下同じ。

¹⁵ 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

¹⁶ 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年原子力規制委員会規則第 30 号）

則解釈¹⁷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の確認
- ・廃棄体の放射能濃度が第二種廃棄物埋設に係る許可を受けたところによる最大放射能濃度を超えないことの確認
- ・政令記載核種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
- ・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

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、次のように説明している¹⁸。

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、放射能濃度決定標準は「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。技術評価の対象とする放射能濃度の評価方法については、「4.2.3 点推定法」(2)①で述べる。

中深度処分対象廃棄物の評価対象核種の検討において、表面汚染の影響を含めるか否か、特に、除染を行わない場合に、表面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、日本原子力学会は、次のように説明している¹⁹。

放射性廃棄物の埋設事業許可申請書に記載する放射性核種は、旧原子力安全・保安院の内規等を参考に、事業者が評価を実施して選定し、選定根拠は審査の中で説

¹⁷ 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈（平成25年11月27日原子力規制委員会決定）

¹⁸ 第4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4-2-1 回答3

¹⁹ 第4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4-2-2「適用範囲と理論的方法の特徴」回答1

明することになりますが、原子力学会標準「AESJ SC F012:2008 余裕深度処分の安全評価手法:2008」において、中深度処分の地下水移行を介した線量評価例として、汚染起源の C-14 と放射化物起源の C-14 を評価対象核種とした評価が示されているように、「放射化分」と「汚染分」の評価をしたうえで「汚染分」の影響を評価することになると考えています。

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

ただし、中深度処分対象廃棄物の放射能濃度は、「放射化分」と「汚染分」を評価した上で、「汚染分」の影響を評価します。原則、二次的な汚染による影響を考慮することを想定しています。

表面汚染が評価対象核種の選定に影響を及ぼす可能性については現時点で提示されなかったことから、表面汚染がないものに対する評価対象核種の評価方法として検討する。

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) 放射能濃度決定標準の「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、放射能濃度決定標準が対象とする炉型について、日本原子力学会は、次のように説明している²⁰。

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)

上記炉型は原子力発電所のうち、実用発電用原子炉が対象であることから、「原子力

²⁰ 第4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 4-2-1 回答 2

発電所」は「実用発電用原子炉及びその附属施設」として技術評価を行う。

- b) 「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」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、その考え方を、日本原子力学会は次のように説明している²¹。

＜標準が想定している中深度処分対象廃棄物の考え方＞

放射化金属等の中には放射能濃度によって「ピット処分対象物」と「中深度処分対象物」に分かれますが、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。

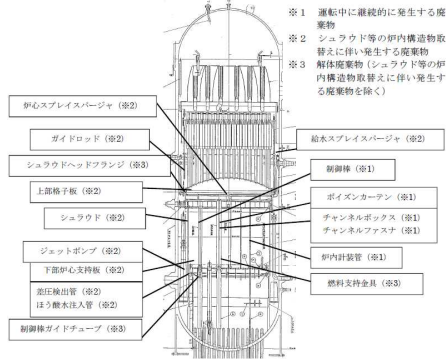
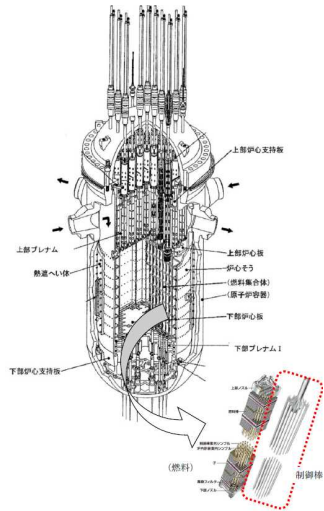
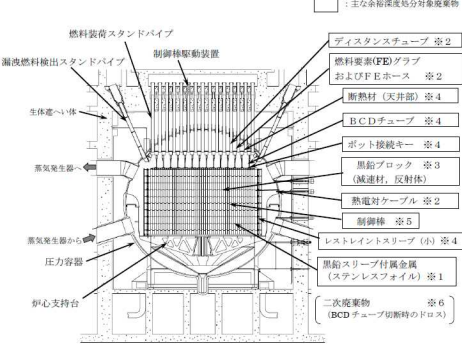
上記「3.5 使用済樹脂等」における「その他の粉状若しくは粒状の放射性廃棄物」及び「3.14 放射化金属等」における「黒鉛など」の「など」について、日本原子力学会は、次のように説明している²²。

「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。

²¹ 第4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4-2-1 回答4(1)

²² 第4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4-2-1 回答4(2)及び第3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3-2 回答4(2)

炉型	対象物	対象物の発生部位 ^{注2)}
BWR	上部格子板、燃料支持金具、シュラウド、炉心支持板、炉心スプレイスパージャ、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	バッフル、バッフルフォーマ板、炉心槽、上部炉心板、制御棒クラスタ案内管、熱遮へい体、下部炉心板、下部プレナム、下部炉心支持板、コンクリート、制御棒、バーナブルポイズン、プラッキングデバイス	
GCR	炉内挿入物 (黒鉛スリーブ付属金属、制御棒、ディスタンスチューブ ¹⁾ 、燃料要素(FE)グラブ ¹⁾ 及びFE ホース ¹⁾ 、熱電対ケーブル ¹⁾ 、炉内構造物 (断熱材(天井部)、BCD チューブ、ポット接続キー、レストレイントスリーブ(小))、BCD チューブ切断ドロス、黒鉛ブロック	

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、圧力容器などがある。

「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ており、例に示されている「生体遮蔽コンクリート」は、セメント、骨材、混和材及び水で構成されているので、他の放射化金属と同等に扱うのは適切ではない。

また、「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おり、「5.1 放射能濃度決定方法の適用」には「b) 使用済樹脂等 実証的方法を適用する。」とあるが、「実証的方法」は技術評価の対象外としている（「4. 2. 1 放射能濃度決定方法の種類」参照）。

したがって、本技術評価書においては「4 評価対象とする廃棄物及び評価対象核種」の「使用済樹脂等」は対象外とし、「放射化金属等」は「放射化金属等（原子炉内及び周辺で中性子照射によって放射化された部材（生体遮蔽コンクリートは除く。）、機器。）」として評価を行う。

- 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容器に収納されると想定される。日本原子力学会は、上記 b) において、検討の対象を「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、PWR、BWR 及び GCR から発生するものと説明している。これらの炉型の大型の対象物（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、次のように説明している²³。

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

²³ 第4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 4-2-1 回答 4(3)

示されることとなります。

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いと個々の廃棄体の 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、本技術評価書においては、容器に収納前の PWR、BWR 及び GCR に係る廃棄物の放射化金属等の代表位置での評価を対象とし、代表位置での評価を行わない場合の方法は技術評価の対象外とする。

- ③ 「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。」と規定されているが、具体的な決定方法は規定されていない。

旧原子力安全・保安院の「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)」²⁴には次のように選定方法が規定されている。

(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。

申請核種の決定方法について、放射能濃度決定標準との上記規程との関係を、日本原子力学会は、次のように説明している²⁵。

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(参考) 放射化計算の入力条件の設定例」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

²⁴ 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

²⁵ 第4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4-2-1 回答5

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。

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、「4. 4. 1 元素成分条件の設定方法」、「4. 4. 2 中性子条件の設定方法」及び「4. 4. 3 照射条件の設定方法」の評価において検討する。

4. 2 放射能濃度決定方法の種類と方法

4. 2. 1 放射能濃度決定方法の種類

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。
実証的方法	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。
	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	固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

法	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。
5.3.2 その他の方法 AESJ-SC-F022:2011 に示される 5.1.2～5.1.4 の方法。	

(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、放射性汚染物が主体である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²⁶である。

放射化物が主体である中深度処分対象廃棄物に、表 1 の手法が適用できる根拠について、日本原子力学会は、次のように説明している²⁷。

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)}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、ピット処分対象廃棄物及び中深度処分対象廃棄物は「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、中深度処分対

²⁶ 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）

²⁷ 第 4 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 4-2-1 回答 6

象廃棄物に対して表1の手法を適用することが妥当と判断する。

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、次のように説明している²⁸。

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	<ul style="list-style-type: none"> ・評価対象の放射性核種の特徴(放射化/汚染といった)。 ・評価対象とする放射性廃棄物の特徴。 	<ul style="list-style-type: none"> ・評価対象の放射性核種は、炉内での中性子照射によって生成する核種であること。 ・評価対象とする放射性廃棄物の原子炉内設置位置、形状、材質、中性子照射履歴が把握できること。
原廃棄物分析法	<ul style="list-style-type: none"> ・評価対象の放射性核種の特徴(放射化/汚染といった)。 ・評価対象とする放射性廃棄物の保管状態、特徴。 	<ul style="list-style-type: none"> ・評価対象の放射性核種は、系統水からの汚染によって評価対象廃棄物に付着、又は吸着されていること。 ・液体状又は粉・粒状の廃棄物で、代表サンプルの採取が可能なこと。 ・評価対象廃棄物が、未固化で貯槽などに保管管理されていること。

放射能濃度決定標準の対象は、「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、これらに含まれない実証的方法(スケ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)は技術評価の対象外とする。また、「原廃棄物分析法」については、本技術評価の対象外とする²⁹(「3.1 技術評価の対象となる規定の選定」参照)。

②理論計算法の「ほかの手法で求めた放射能濃度を用いる方法」の適用

「表1ー放射能濃度決定方法の種類及び内容」の理論計算法において、内容欄に「ほかの手法で求めた放射能濃度を用いる方法」と規定されている。これについて、日本原子力学会は、次のように説明している³⁰。

²⁸ 第4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4-2-1 回答6

²⁹ 第4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4-3

³⁰ 第3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3-1 回答1(1)

「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¹⁾及びほかの手法で求めた放射能濃度を用いる方法」とは、平成4年当時に原子力安全委員会(当時)が了承した廃棄体中の放射性物質濃度の決定方法の内容を示したものです。

注1) 原子力安全委員会が了承した手法では「濃度比」ではなく、「組成比」と表記されていますが、標準内では、放射化計算での濃度の比率は、「濃度比」で統一しています。(「組成比」と表記すると、浅地中処分対象廃棄体向けのスケーリングファクタ法の組成比と誤解を生む恐れがあるため)

この中の「ほかの手法」とは、理論的な方法以外の手法を意味し、標準では、理論的方法とそれ以外の方法と組み合わせて評価することによって放射能濃度を決定する方法も理論的方法に分類しています。

具体的には、下記のように3つの方法を組合せて評価している実績があります。

$$\text{Ni-59放射能濃度} = \text{濃度比}(\text{Ni-59/Ni-63})^{2)} \times \text{SF}(\text{Ni-63/Co-60})^{3)} \times \text{Co-60放射能濃度}^{4)}$$

注2) 理論計算法(原子炉燃焼計算)で理論的に求めた濃度比

注3) 放射化学分析データによってスケーリングファクタ法で求めたSF

注4) 非破壊外部測定法で測定した廃棄体の放射能濃度

なお、「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」とは、学会標準で示す点推定法及び区間推定法を示しております。

旧原子力安全委員会は理論計算法における「ほかの手法」の具体を示していない。日本原子力学会は、「ほかの手法」とは「理論的な方法以外の手法を意味し」としているが、「理論的な方法以外の手法」の具体は示されていない。また、上記注4)に示す廃棄体の放射能濃度を非破壊外部測定法で測定することは、「4.2.1放射能濃度決定方法の種類」(2)①において技術評価の対象外としている。したがって、理論計算法における「ほかの方法」は本技術評価の対象外とする。

4.2.2 理論計算法の種類

理論計算法の種類については「5.2.1 理論計算法の種類」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」及び「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は、「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、次のように説明している³¹。

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が、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	代表位置（例 最大値を示す位置、	・同種の放射化金属が多数発生する

³¹ 第4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 4-2-1 回答 7(1)

	点推定法	区間推定法
化金属等	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)	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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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

注記 「条件範囲が明確な放射化金属等」とは、放射化金属等の切断等の処理が行われることによって、位置ごとの詳細条件の特定が難しくなった廃棄物 (一部の切断CBが相当する) に対しても、その廃棄物全体の条件範囲 (材料、中性子、照射) は明確であるため、条件範囲を網羅する放射化計算によって評価する方法である区間推定法を適用して評価できるものを示します。

また、「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」とした点について、「より合理的な放射能濃度の評価」を日本原子力学会は、次のように説明している³²。

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

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

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

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、日本原子力学会は、以下のように説明している³³。

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

³² 第4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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 2(1)

³³ 第4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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 2(2)

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

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

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、日本原子力学会は、次のように説明している³⁴。

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

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

上記の濃度比法は、廃棄体の Key 核種濃度（非破壊測定又は集積計算した値）と対象核種の Key 核種に対する濃度比を乗じることで対象核種の放射能濃度を求めるとしているが、附属書 D「1.3 濃度比法」においては、Key 核種濃度を測定すれば適用できる手法と規定しており、集積計算結果の適用の規定は見当たらない。また、「4. 2. 1 放射能濃度決定方法の種類」（2）①で述べたとおり、廃棄体の放射能濃度を非破壊外部測定法で測定することは、技術評価の対象外としている。本件については、「4. 2. 6 濃度比法」（2）①において検討する。

② 「5.2.1 理論計算法の種類」は、「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。」として、点推定法と区間推定法についての補足説明が記載されている。しかし、「原子力規制委員会における民間規格の活用について」において、民間規格の技術評価は、「性能規定化された規制要求に対する容認可能な実施方法としてあらかじめ評価しておく」ものであり、技術評価後の民間規格は、「原子力規

³⁴ 第 4 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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 2(3)

制委員会の定める規則解釈又は審査基準等で行政手続法第5条に規定する審査基準に該当するものに引用」され、基準の一部となるものであり、その中に補足説明のような記載を含むことは想定されていない。

補足説明のような記載は削除し「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」は単に「点推定法」と、「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を計算する方法」は単に「区間推定法」とするよう要望する。

補足説明は、用語の定義として位置づける、解説とする等して整理することを要望する。

(3) 要望事項

- 補足説明のような記載は削除し「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」は単に「点推定法」と、「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を計算する方法」は単に「区間推定法」とするよう要望する。
- 補足説明は、用語の定義として位置づける、解説とする等して整理することを要望する。

4. 2. 3 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」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

- ① 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。」と規定されている。

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、次のように説明している³⁵。

放射化計算に適用する適切なパラメータ及び保守的なパラメータは、標準 6.1.2.2.3 及び 6.1.2.4 に記載しておりますように、それぞれ次のようになります。

区分	評価条件	平均放射能濃度の評価	最大放射能濃度の評価
適切なパラメータ ¹⁾	代表位置での設定による評価	—	評価対象とする放射化金属等の代表とできる位置 ²⁾ が選択できる場合に、その位置でのパラメータで設定する。
	平均的条件での設定による評価	各パラメータの平均値を適用する。	—
保守的なパラメータ ¹⁾	保守的条件での設定による評価	—	評価対象とする放射化金属等の中性子条件、照射条件、元素条件の最大値、又は信頼上限値を適用する。

注 1) パラメータとは、放射化計算に入力する材料仕様、中性子条件及び照射条件

注 2) 代表とできる位置の例：チャンネルボックスの中央位置、制御棒の先端位置

日本原子力学会は、「適切なパラメータ」として、「評価対象とする放射化金属等の代表とできる位置におけるパラメータ」又は「平均的な条件とできる各パラメータの平均値を適用したパラメータ」の 2 種類を指すとしているが、それぞれをどのように使い分けるのかを示していない。一方、「保守的なパラメータ」としては、「評価対象とする放射化金属等の中性子条件、照射条件、元素条件の最大値、又は信頼上限値を適用する」としている。

放射能濃度決定標準は、最大放射能濃度と総放射能量の評価方法を規定しているとのことであるが、それぞれの規定がどちらを指しているのかは判別できない。「適切な」の用語は、「適切な代表的条件」、「適切な放射化計算」、「適切な代表値（又は範囲）」、「適切な中性子条件」等、多数用いられている。このため、最大放射能濃度と総放射能量の評価方法それぞれについて技術評価することは困難である。

被規制者より、「技術評価を希望する学協会規格について」³⁶において「事業許可申請書に記載した最大放射能濃度を超えないこと」の審査³⁷に用いるとの説明があったことから、本技術評価は、最大放射能濃度の評価方法について対象とする。「5.2.1 理論計算法の種類」は、放射化金属等の最大放射能濃度の評価に適用することを明確にするよう規定を整理することを要望する。なお、総放射能量の評価方法については、今後の改定において、最大放射能濃度の評価方法と整理し規定されてから技術評価する。

³⁵ 第 3 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 3-1 回答 2

³⁶ 第 15 回新規要件に関する事業者意見の聴取に係る会合資料 16-1

³⁷ 埋設事業者が定める保安規定のうち廃棄物受け入れ基準（WAC）及び廃棄物埋設申請書（廃棄体）の審査

また、「適切な代表的条件」、「適切な放射化計算」、「適切な代表値（又は範囲）」、「適切な中性子条件」等の記載は、適切な、とは何を指すのかを整理し明確化することを要望する。

「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。」は解説に当たる内容であることから、点推定法を適用する具体的な場合について規定を整理することを要望する。

(3) 要望事項

- 「5.2.1 理論計算法の種類」は、放射化金属等の最大放射能濃度の評価に適用することを明確にするよう規定を整理することを要望する。
- 「適切な代表的条件」、「適切な放射化計算」、「適切な代表値（又は範囲）」、「適切な中性子条件」等の記載は、適切な、とは何を指すのかを整理し明確化することを要望する。
- 「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。」は解説に当たる内容であることから、点推定法を適用する具体的な場合について規定を整理することを要望する。

4. 2. 4 区間推定法

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」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。

(2) 検討の結果

- ① 「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、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核種の生成因子である燃料の燃焼度などの管理指標の値から評価する方法、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、計算により求めた濃度比に、測定又は計算により求めたKey核種（Co-60等）の放射能濃度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。

ここで、「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」（添付資料-1参照）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、次のように説明している³⁸。

「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、区間推定法は、この点推定法（ただし、入力条件はランダムに選定した条件）による計算を多数行った結果ですので、「換算係数法」、「濃度比法」とも同じ計算結果（核種の放射能濃度）がベースとなります。

この計算結果を用いて、評価対象核種と燃焼度との換算係数、又は評価対象核種とKey核種（例 Co-60、Cs-137）との濃度比で評価する方法が区間推定法で、それぞれの評価方法の特徴（例 運転管理データを利用、非破壊測定結果を利用）を踏まえて選択するものです。

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	区間推定法	
		換算係数法	濃度比法

³⁸ 第4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4-2-1 回答8

入力条件の設定	代表位置 (例 最大を示す位置) の、中性子、照射条件及び元素 (例最大値) で設定する。	入力用設定分布から「ランダムに選択した位置での中性子、照射条件」に加え、入力用設定分布から「ランダム抽出した元素条件」を繰り返し設定する (必要数量に達するまで)。	
放射化金属等の各位置における放射能濃度の計算結果	1 回の放射化計算の結果である放射能濃度が得られる。	各入力条件での放射化計算の結果 (上記の必要数量の放射能濃度の結果) が得られる。なお、計算方法は、点推定法と同じ。	
放射能濃度の計算結果を使用した評価	—	上記の複数の放射能濃度の計算結果を使用して、放射能濃度と管理指標 (例 燃焼度) との「換算係数」を評価、設定する。	上記の複数の放射能濃度の計算結果を使用して、評価核種と Key 核種の「濃度比」を評価、設定する。
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

さらに、いずれの手法でも、実際の運用段階における入力条件の設定において、不確実性があるものは、十分な保守性をもって設定するため、保守的な結果によって評価できる方法となっています。

日本原子力学会の説明には濃度分布評価法についての記載がなく、同手法をチャンネルボックスに適用した場合の問題点等が確認できない。

② 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、次のように説明している³⁹。

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射化物放射化物への適性を示す。

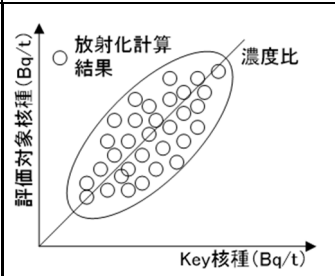
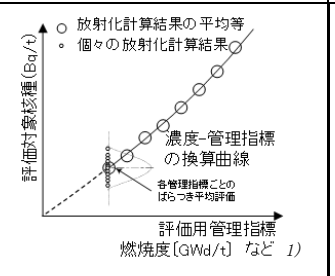
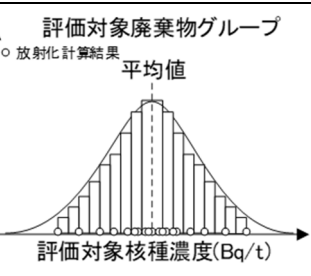
³⁹ 第4回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム参考資料 4-2-1 回答 10

- ・ 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ていること。	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、バッフル、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、炉心バッフル、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。

上記の説明は適用性の観点から同等性を説明したものである。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、次のように説明している⁴⁰⁾。

「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、区間推定法は、この点推定法（ただし、入力条件はランダムに選定した条件）による計算を多数行った結果ですので、「換算係数法」、「濃度比法」とも

⁴⁰⁾ 第4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 4-2-1 回答 8

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間推定法で、それぞれの評価方法の特徴（例 運転管理データを利用、非破壊測定結果を利用）を踏まえて選択するものです。

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	区間推定法	
		換算係数法	濃度比法
入力条件の設定	代表位置（例 最大を示す位置）の、中性子、照射条件及び元素（例 最大値）で設定する。	入力用設定分布から「ランダムに選択した位置」での中性子、照射条件に加え、入力用設定分布から「ランダム抽出した元素条件」を繰り返し設定する（必要数量に達するまで）。	
放射化金属等の各位置における放射能濃度の計算結果	1回の放射化計算の結果である放射能濃度が得られる。	各入力条件での放射化計算の結果（上記の必要数量の放射能濃度の結果）が得られる。 なお、計算方法は、点推定法と同じ。	
放射能濃度の計算結果を使用した評価	—	上記の複数の放射能濃度の計算結果を使用して、放射能濃度と管理指標（例 燃焼度）との「換算係数」を評価、設定する。	上記の複数の放射能濃度の計算結果を使用して、評価核種とKey核種の「濃度比」を評価、設定する。
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

さらに、いずれの手法でも、実際の運用段階における入力条件の設定において、不確実性があるものは、十分な保守性をもって設定するため、保守的な結果によって評価できる方法となっています。（参考資料4-2-1の回答10(前出)も参照ください。）

しかしながら、それぞれの方法の適用条件については、放射能濃度決定標準に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。

「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る。「濃度比法」と「換算係数法」の放射化計算の結果の同等性について、日本原子力学会は、次のように説明している⁴¹。

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

表 3(2) チャンネルボックスの他の核種の放射能濃度の評価方法による差異

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

注記：比較のための計算方法は、表 3(1)-2 と同じ

また、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について、日本原子力学会は、次のように説明している⁴²。

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

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

表 3(1)-1 附属書の例示に適用した区間推定法の入力条件の設定

	設定方法	入力条件の設定	例示している方法
①	条件範囲を網羅する設定	評価対象廃棄物の入力条件 (中性子条件の例: 炉内の中性子照射位置ごとの中性子条件の分布) を踏まえ、この分布の範囲からランダムにサンプリングを行い、計算条件を設定する。	附属書 I の濃度比法
②	平均的又は保守的条件での設定	評価対象廃棄物の平均的又は保守的入力条件 (中性子条件の例: 中性子照射位置ごとの中性子条件の分布を踏まえ、この分布の範囲か	附属書 J の換算係数法

⁴¹ 第 4 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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 3(2)

⁴² 第 4 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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 3(1)

	ら平均的な中性子フルエンス率・中性子スペクトル分布、又は放射能濃度を保守的に（大きめに）評価できる代表値、放射化断面積）を設定する。	
--	--	--

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

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

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

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

同じ評価対象物（チャンネルボックス）に対して、①点推定法、②濃度比法、③換算係数法及び④濃度分布評価法を用いて、最大放射能濃度を算出した例について、日本原子力学会は、次のように説明している⁴³。

説明して欲しい内容	点推定法	区間推定法												
		濃度比法	換算係数法	濃度分布評価法										
(最大の放射能濃度の評価結果の比較)	表1 最大の放射能濃度の評価条件と評価結果	表2 最大の放射能濃度の評価条件と評価結果	(現状、最大の放射能濃度の評価は、評価できません。今後、前述した最大の放射能濃度を算出する手順に従って計算した結果を示します)	表3 最大の放射能濃度の評価条件と評価結果										
	<table border="1"> <tr> <td>Nb-94の最大の放射能濃度の求め方</td> <td>計算したNb-94の放射能濃度の結果1)の最大値を使用して、Nb-94の最大の放射能濃度として評価</td> </tr> <tr> <td>評価し</td> <td>6.2 E+9</td> </tr> </table>	Nb-94の最大の放射能濃度の求め方		計算したNb-94の放射能濃度の結果1)の最大値を使用して、Nb-94の最大の放射能濃度として評価	評価し	6.2 E+9	<table border="1"> <tr> <td>Co-60の最大の放射能濃度の設定方法</td> <td>計算した結果1)のCo-60の放射能濃度の最大値をCo-60の最大の放射能濃度と適用</td> </tr> <tr> <td>Nb-94の最大の放射能濃度の求め方</td> <td>① Co-60放射能濃度と一緒に計算されたNb-94放射能濃度を使用して、Nb-94/Co-60</td> </tr> </table>	Co-60の最大の放射能濃度の設定方法	計算した結果1)のCo-60の放射能濃度の最大値をCo-60の最大の放射能濃度と適用	Nb-94の最大の放射能濃度の求め方	① Co-60放射能濃度と一緒に計算されたNb-94放射能濃度を使用して、Nb-94/Co-60	<table border="1"> <tr> <td>Nb-94の最大の放射能濃度の求め方</td> <td>計算したNb-94の放射能濃度の結果1)の最大値を使用して、Nb-94の最大の放射能濃度として評価</td> </tr> <tr> <td>評価したNb-94最大の放射能</td> <td>6.2 E+9 Bq/t</td> </tr> </table>	Nb-94の最大の放射能濃度の求め方	計算したNb-94の放射能濃度の結果1)の最大値を使用して、Nb-94の最大の放射能濃度として評価
Nb-94の最大の放射能濃度の求め方	計算したNb-94の放射能濃度の結果1)の最大値を使用して、Nb-94の最大の放射能濃度として評価													
評価し	6.2 E+9													
Co-60の最大の放射能濃度の設定方法	計算した結果1)のCo-60の放射能濃度の最大値をCo-60の最大の放射能濃度と適用													
Nb-94の最大の放射能濃度の求め方	① Co-60放射能濃度と一緒に計算されたNb-94放射能濃度を使用して、Nb-94/Co-60													
Nb-94の最大の放射能濃度の求め方	計算したNb-94の放射能濃度の結果1)の最大値を使用して、Nb-94の最大の放射能濃度として評価													
評価したNb-94最大の放射能	6.2 E+9 Bq/t													

⁴³ 第4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4-2（資料4-1の別紙1抜粋）

た Nb-94 最大の放射能濃度 注1 附属書I の表I. 21 に示す放射化計算の結果から決定	Bq/t	濃度比 (算術平均) を評価 ② 上欄の Co-60 放射能濃度 (最大値) に、 ①で求めた Nb-94/Co-60 濃度比を乗じて Nb-94 の最大の放射能濃度を評価	濃度 注1 附属書I
	評価した Nb-94 最大の放射能濃度		
注1 附属書I の表I. 21 に示す放射化計算の結果			

日本原子力学会によれば、換算係数法については最大放射能濃度の算出例がないとのことであり、技術的妥当性が確認できなかった。このため、換算係数法は技術評価の対象外とする。また、いずれの方法を選択したかについては、その妥当性が説明されることが必要である。

「5.2.3.1 区間推定法の種類」の「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 原子炉压力容器）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。」は解説に当たる内容であるため、解説に移行する等規定を整理することを要望する。

(3) 要望事項

- 「5.2.3.1 区間推定法の種類」の「中性子条件及び照射条件は、(中略)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。」は解説に当たる内容であるため、解説に移行する等規定を整理することを要望する。

4. 2. 5 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」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。

(2) 検討の結果

- ① 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が、「4. 2. 4 区間推定法」(2) ②に述べたとおり、最大放射能濃度の算出例がないことから、本技術評価においては対象外とする。

4. 2. 6 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」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¹⁾の放射能濃度との相関関係を評価し、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（考慮する必要がない場合を、例に示す）。

注記 詳細は、附属書 D 参照。

例 Key 核種 [Cs-137 (半減期 30.1 y)] と難測定核種 [Sr-90 (半減期 28.8 y)] とのように、半減期の差異が小さく、かつ、減衰時間が 1 年未満などの場合は、難測定核種と Key 核種との比率に与える影響が小さい。

注 1) Key 核種の半減期が、評価する対象の時間に関して、評価対象核種の濃度比に際立った影響を与えないように、十分に長い半減期の Key 核種を考慮するのがよい。

(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（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 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かについて、日本原子力学会は、次のように説明している⁴⁴。

「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。

「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するとあり、附属書の「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」（別添 1 参照）において、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。上記日本原子力学会の説明と注記 a) の考え方は理解できるが、規定として明確にするよう要望する。

さらに、「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」との記載に関し、放射能濃度決定標準の「6.1.2.2.2 起源元素の元素成分データの収集方法」でも「同じ材料の種類」、「同じ材料種類」、「同種 of 材料種類」という用語が使用されている。「同じ」、「同種 of の」用語の使い分けについて、日本原子力学会は、次のように説明している⁴⁵。

標準では次のように扱っています。なお、「同じ材料の種類」と「同じ材料種類」は同じです。

同じ材料種類： 品番までが同じ材料種類（例 SUS304）

⁴⁴ 第 4 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 4-2-1 回答 9(3)

⁴⁵ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 6

同種の材料種類： 品種までが同じ材料種類 (例 SUS)

「同種の材料種類」の「品種までが同じ材料種類」は、品番ごとに化学成分の種類と量が異なっており、添加元素の違いもあるので同じ化学成分量と見なすことは妥当ではない。例えば、日本産業規格 JIS G 3459 「配管用ステンレス鋼鋼管」の SUS304TP と SUS316TP は「同種の材料種類」になるが、Ni は SUS304TP が 8.00～11.00%であるのに対し、SUS316TP は 10.00～14.00%、Cr は SUS304TP が 18.00～20.00%であるのに対し、SUS316TP は 16.00～18.00%、Mo は SUS304TP が規定されていないのに対し、SUS316TP は 2.00～3.00%であり、必要に応じて、この表に記載していない合金を添加してもよいとされている。また、これらの元素が最大量含まれた場合、SUS304TP が 31%であるのに対し、SUS316TP は 35%となり、起源元素である Fe の成分量も異なることになる。日本原子力学会の説明から、「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」は「同種の材料種類」に該当する場合、妥当ではないことから、「同じ材料種類」は「材料の種類」の記号 (JIS 規格等による。単に「記号」という場合もある。) が同じもの。」であることが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

加えて、「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¹⁾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」に関し、「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」の「D. 1.3 濃度比法」においては「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、中性子の照射履歴の詳細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」としている。

濃度比法の適用方法を明確にする意味から「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」ことが分かるよう、規定を整理することを要望する。

(3) 要望事項

- 「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するとあること、附属書の「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」の注記 a) に、「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。」とあることを踏まえ、濃度比の変化をどのように考慮するかについて規定として明確にするよう要望する。
- 「同じ材料種類」は「材料の種類」の記号 (JIS 規格等による。単に「記号」という場合もある。) が同じもの。」であることが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

- 濃度比法の適用方法を明確にする意味から「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」ことが分かるよう、規定を整理することを要望する。

4. 2. 7 濃度分布評価法

区間推定法の中の濃度分布評価法については「5. 2. 3. 4 濃度分布評価法」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。

(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 「5. 2. 3. 4 濃度分布評価法」に、「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の中性子フルエンス率だけが異なる」とあるが、対象部位によっては中性子スペクトルの変動のケースも考えられ、その変動性を踏まえた放射化断面積の条件に影響する可能性が考えられる。中性子フルエンス率だけとしている理由について日本原子力学会は次のように説明している⁴⁶。

中性子スペクトルの変動は、標準「6. 1. 2. 3 中性子条件」の「b) 放射化断面積」及び「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」の「D. 5. 1 中性子条件の設定における基本事項」に示しますように放射化断面積に中性子スペクトルの特性を考慮して反映します。

したがって、「標準 6. 1. 2. 1 放射化計算の入力条件」に示します放射化計算の入力条件としては、「元素条件」及び「照射条件」及び「中性子条件（中性子フルエンス率・中性子スペクトル）」ですが、標準 5. 2. 3. 4 では、放射化計算の入力条件

⁴⁶ 第 3 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 3-1 回答 3

の内、「元素条件」及び「照射条件」は一定で、かつ、中性子スペクトルは放射化断面積のパラメータに反映されますので、「中性子フルエンス率だけ」との表現とされています。

例えば、BWRのチャンネルボックス及びPWRの制御棒では、放射化断面積への反映方法が使用する放射化計算コードによって、次のように異なります。

ORIGEN-S: 中性子スペクトルを表すインデックスによって、計算コードの内部にて放射化断面積を計算 (附属書Fの図F.1参照: BWRのチャンネルボックスの例)

ORIGEN2: 中性子スペクトルを考慮した放射化断面積を作成 (附属書Fの図F.4参照: PWR制御棒の例)

このように、いずれの計算コードでも中性子スペクトルは、最終的に放射化断面積として考慮します。

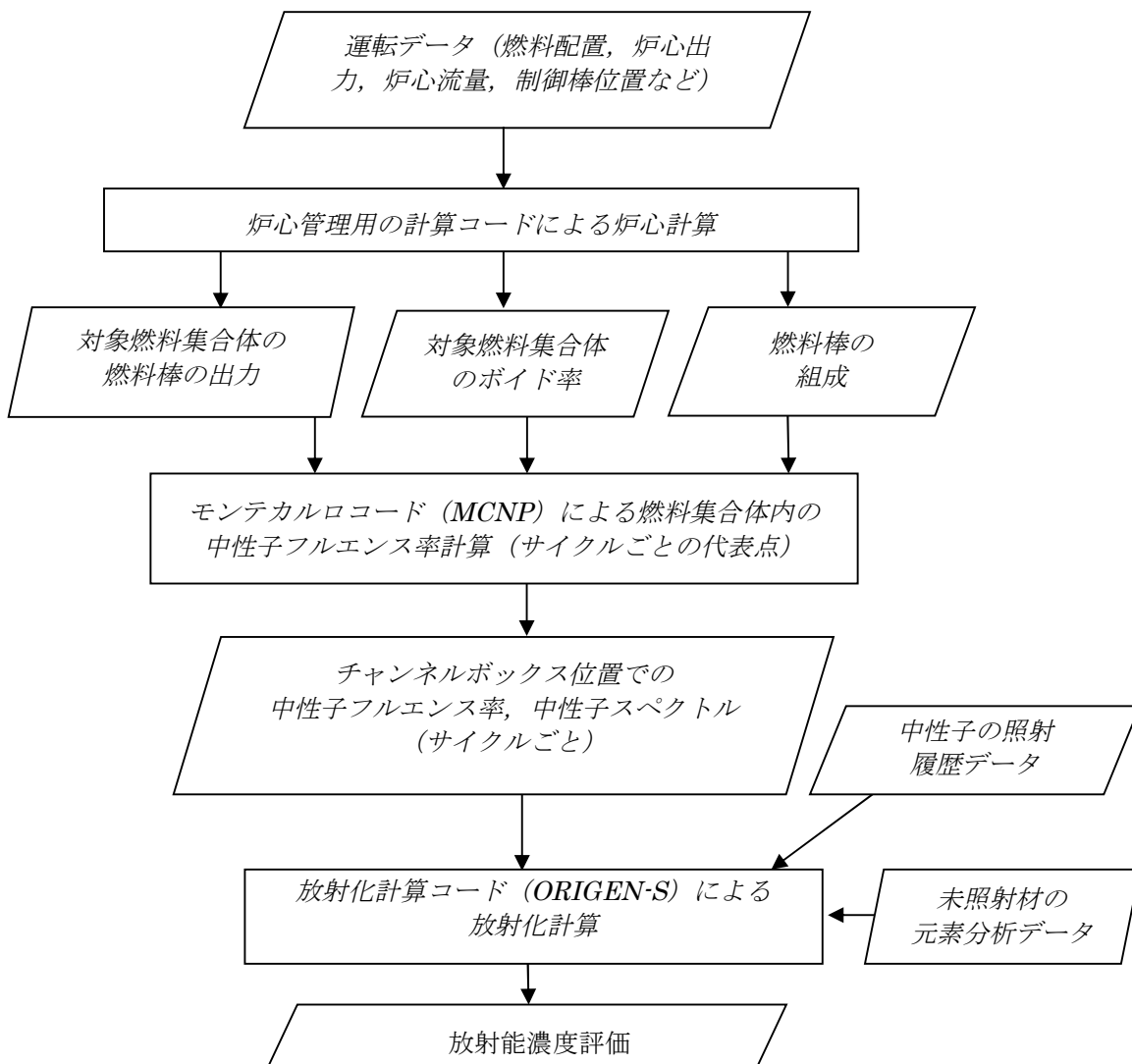


図 F.1—BWR チャンネルボックスの放射化計算フロー図

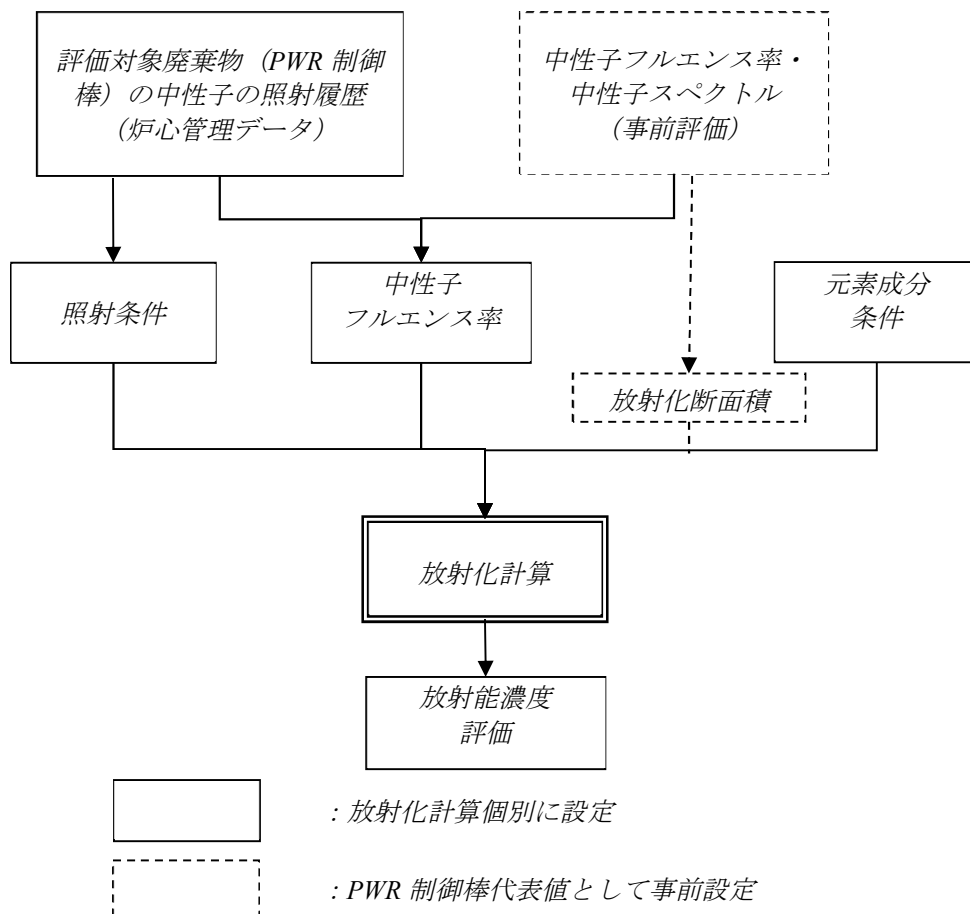


図 F. 4-PWR 制御棒の放射化計算フロー図

日本原子力学会は、ORIGEN-S コードでは中性子スペクトルを表すインデックスによりコード内部にて放射化断面積を作成していること、また、ORIGEN2 コードではユーザーが中性子スペクトルに基づいてあらかじめ 1 群放射化断面積をライブラリから選択あるいは作成するものであるから「中性子フルエンス率だけ」としている。濃度分布評価法においては、中性子スペクトルの特性が反映された放射化断面積が使用されることから、「中性子フルエンス率だけ」とされていることは妥当と判断する。

「5.2.3.4 濃度分布評価法」は、濃度分布評価法の適用条件を規定していないことから、適用条件を明確にすることを要望する。

(3) 要望事項

- 「5.2.3.4 濃度分布評価法」は、濃度分布評価法の適用条件を規定していないことから、適用条件を明確にすることを要望する。

4. 3 放射化計算の基本手順

放射化計算の手順は「6. 1. 1 放射化計算の基本手順」に規定している。

(1) 規定の内容

6. 1. 1 放射化計算の基本手順

放射化金属等の内部に含まれる評価対象核種の放射能濃度の決定のために実施する理論計算法に適用する放射化計算の基本手順は、次の過程に従う。

a) 対象・目的などの設定 計算の目的の明確化。評価対象とする放射化金属等及び核種、正確性・精度の要求、幾何形状並びに必要な計算の全体スコープの設定。

例 放射化に影響を与える、放射化金属等の構成材料、評価対象とする放射化金属等の量、類似性、形状、サンプリングの可能性などを整理する。

b) 計算方法の選択 (例 点推定法又は区間推定法の選択)

c) 入力パラメータの選択・決定 入力パラメータ及び境界条件は、選択した計算方法に依存する。

d) 計算の実施 選定した方法及び入力パラメータを使用した放射化計算の実施。

e) 計算結果の処理 選択した方法に依存する相関、換算係数などを決定するための放射化計算した結果の処理。

注記 詳細は、附属書 A 参照。

(2) 検討の結果

① 「6. 1. 1 放射化計算の基本手順」は、基本手順を規定する必要性及び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、詳細は附属書 A 参照としている。本文と「附属書 A (参考) 理論計算法の適用方法及び手順」のいずれが優先されるかについて、日本原子力学会は、次のように説明している⁴⁷。

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

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

② 「a) 対象・目的などの設定」は「計算の目的の明確化。評価対象とする放射化金属等及び核種、正確性・精度の要求、幾何形状並びに必要な計算の全体スコープの設定。」と規定し、放射化金属等の構成材料、評価対象の量、類似性、形状、サンプリングの可能性などの整理を例示している。しかし、「正確性・精度の要求」とは何を対象としているか、評価位置は関係しないのか等、明確ではない。一方、「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」の「D. 2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」においては、次の手順を規定している。

a) 評価対象とする放射化金属等の選択及び特性の調査

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)

⁴⁷ 第4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 4-2-2 「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」回答 3

- c) 元素成分の濃度の設定
- d) 原子炉運転サイクルにおける設置位置の選択
- e) 中性子の照射時間の選択
- f) 中性子フルエンス率の設定
- g) 放射化断面積の設定
- h) 放射化計算用の入力データの設定

また、「D.3 評価対象放射化金属等の評価位置の選択」においては、「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」及び「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」において、放射化金属等の評価位置の選択を規定している。「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」の「D.2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」、
「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」及び「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」の規定を踏まえて、放射化計算の入力条件の設定に係る規定を明確にすることを要望する。

- ③ 「c) 入力パラメータの選択・決定」は「入力パラメータ及び境界条件は、選択した計算方法に依存する。」と規定されているが、入力パラメータが何を指すのかが規定されていない。「D.2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」には、入力条件がより具体的に記載されていることから、これを参考に規定を明確にすることを要望する。
- ④ 「d) 計算の実施」は「選定した方法及び入力パラメータを使用した放射化計算の実施。」と規定されている。上記③に対する要望を踏まえ、規定を明確にすることを要望する。

(3) 要望事項

- 「a) 対象・目的などの設定」は「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」の記載を踏まえて、規定を明確にすることを要望する。
- 「c) 入力パラメータの選択・決定」は「D.2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」には、入力条件がより具体的に記載されていることから、これを参考に規定を明確にすることを要望する。
- 「d) 計算の実施」は「選定した方法及び入力パラメータを使用した放射化計算の実施。」と規定されている。(2) ③に対する要望を踏まえ、規定を明確にすることを要望する。

4.4 放射化計算の条件設定方法

放射化計算の条件設定方法については「6.1.2 放射化計算の条件の設定」に規定してい

る。

(1) 規定の内容

6.1.2 放射化計算の条件の設定

6.1.2.1 放射化計算の入力条件

入力パラメータ及び条件を設定する一般的な手順は、点推定法による計算方法及び区間推定法による計算方法として文書化する。また、放射化計算には、次に示した基本的な入力パラメータ及び条件が必要となる。

- 元素成分条件
 - 中性子条件
 - 照射条件 (例 中性子照射時間, 照射停止時間)
- 注記 詳細は、附属書 C 及び附属書 D 参照

(2) 検討の結果

- ① 放射化計算の入力条件は、「入力パラメータ及び条件を設定する一般的な手順は、点推定法による計算方法及び区間推定法による計算方法として文書化する。また、放射化計算には、次に示した基本的な入力パラメータ及び条件が必要となる。」と規定されている。「4.3 放射化計算の基本手順」(2)③に対する要望を踏まえ、規定を明確にすることを要望する。

(3) 要望事項

- 「4.3 放射化計算の基本手順」(2)③に対する要望を踏まえ、規定を明確にすることを要望する。

4.4.1 元素成分条件の設定方法

元素成分条件の設定方法については「6.1.2.2 元素成分条件」に規定している。

(1) 規定の内容

6.1.2.2 元素成分条件

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

注記 詳細は、附属書 F 及び附属書 G 参照。

6.1.2.2.1 起源元素の選定方法

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

- 起源元素は、不純物、又は微量元素として存在していると考えられる元素とともに、評価する材料の化学組成から選定する。
- 評価対象核種 (評価対象核種と相関関係をもつ Key 核種を含む) を生成する元素は、起源元素として抽出しなければならない。

なお、起源元素は、次のステップ (全て又はいずれか) によって、対象からスクリーニ

ングすることができる。

- 原子炉内で放射化によって生成する放射性同位体は、起源元素から除外できる。ただし、天然に広く存在する放射性同位体は除外しない。
例 Pu などのように材料の放射化によって生成する放射性同位体。
- 評価対象核種を生成しない元素は、起源元素から除外できる。
- 材料の精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素は、起源元素から除外できる。ただし、対象物の範囲及び評価によっては、完全に除去されず、放射化計算に考慮した方がよい元素もある。
- 評価対象核種の総生成放射能に対する寄与が小さい元素は、起源元素から除外できる。

6.1.2.2.2 起源元素の元素成分データの収集方法

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

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

6.1.2.2.3 起源元素の成分条件の設定方法

起源元素の元素成分条件は、次のいずれかの方法で設定する。

- 代表値を設定する方法 収集した起源元素の元素成分データによって、濃度の代表値を設定する。
- 濃度分布から設定する方法 収集した起源元素の元素成分データの濃度分布を踏まえ、複数の代表的濃度（例 平均濃度、信頼上限値など）を設定する。
- 濃度範囲を設定する方法 収集した起源元素の元素成分データの濃度範囲を踏まえ、最大濃度、最小濃度を設定する。

注記 検出が困難な元素に関する濃度分布の評価方法は、附属書 H を参照。

(2) 検討の結果

起源元素の選定及び元素成分条件の設定は、その後の放射化計算を経て、中深度処分対象廃棄物の放射能濃度に直接的に影響する因子である。そのため、中深度処分対象廃棄物の放射能濃度の決定のためには、放射能濃度の評価を行う核種を確実に把握する必要がある。

- ① 「6.1.2.2 元素成分条件」には、「評価の条件、評価対象とする放射化金属等の構成材料を考慮して、起源元素を選定し、元素成分データを収集する。」と規定されているが「構成材料を考慮して」では、当該材料以外のものでも許容されるような記載であることから、「評価の条件、評価対象とする放射化金属等の構成材料に基づき、起源元素を選定し、構成材料の元素成分データを収集する。」ことが分かるよう規定を明確にすることを要望する。また、「種々のソースから収集した起源元素の元素成分データを放射化計算に用いることができる。」と規定されているが、「種々のソース」は適用可能範囲が広すぎて当該構成材料の元素成分の特徴を希薄にする可能性があることから、規定を整理することを要望する。他方、当該材料の元素成分においては意図しない循環性元素の存在や溶着金属の存在に着目する必要があることから、「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）材が含まれている場合は、意図しない循環性元素（トランプエレメント）の存在を考慮する。溶接部にあつては必要に応じて溶着金属の化学組成を考慮する。」ことが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

- ② 「6.1.2.2.1 起源元素の選定方法」において、「起源元素は、評価対象とする放射化金属等の種類（材料）ごとに、次の考え方を踏まえ、選定する。」と規定されている。

「6.1.2.2.2 起源元素の元素成分データの収集方法」では、「同じ材料の種類」と「同種材料の種類」は異なるとされており、「放射化金属等の種類（材料）」が両者のどちらに区分されるのか不明確であることから、規定を明確にすることを要望する。

起源元素選定の考え方において、「起源元素は、不純物、又は微量元素として存在していると考えられる元素とともに、評価する材料の化学組成から選定する。」と規定されている。材料の特性改善のための添加元素及び溶接性の改善のために特別要求仕様として添加された合金元素等、JIS等の材料規格に規定する試験成績書（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、日本原子力学会は、次のように説明している⁴⁸。

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

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

また、記載されていない元素は、化学分析又は文献によるデータを適用します。JIS等の材料規格に規定する試験成績書（ミルシート）に記載されない添加元素については、品質管理用保存試料の化学分析結果を利用する方法や材料メーカ又はプラントメーカが保存している分析記録を利用する方法がある。特別要求仕様を考慮する必要があることが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

「6.1.2.2.1 起源元素の選定方法」には、「なお、起源元素は、次のステップ（全て又はいずれか）によって、対象からスクリーニングすることができる。」とされ、四つのステップが規定されている。四つのステップのいずれを省略しても、起源元素としての選定対象が増えるだけで非保守的にはならない。「対象からスクリーニングすることができる」は、スクリーニングアウトであることを明確にすることを要望する。

ステップの三つ目には「材料の精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素は、起源元素から除外できる。ただし、対象物の範囲及び評価によっては、完全に除去されず、放射化計算に考慮した方がよい元素もある。」と規定されている。「除外でき

⁴⁸ 第4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 4-2-2 「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」回答 3

る」か「考慮した方がよい」かのいずれを選ぶのか曖昧な規定である。材料の精錬時などに揮散によって除去されることが説明できる元素及び揮散後にも一部が残留すると想定されるが、評価対象核種の総生成放射能に対する寄与が小さいことが説明できる元素は除外できる。しかし、後工程で添加される元素、混入する可能性が高い物質の元素は考慮する必要があることから、規定を明確にすることを要望する。

ステップの四つ目に「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。」と規定されている。中性子スペクトルは、高速中性子が支配的な場合(スペクトルが硬い)と熱中性子が支配的な場合(スペクトルが軟らかい)で、生成核種の放射化断面積の中性子エネルギー依存性を考慮する必要がある。評価対象核種の総生成放射能に対する寄与は一律に求まるものではないことから、「寄与が小さい元素」は「寄与が小さいことが説明できる元素」であることが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

- ③「6.1.2.2.2 起源元素の元素成分データの収集方法」には、「評価対象とする放射化金属等の種類、材料を考慮した上で、次のいずれかの方法で起源元素の元素成分データを収集する。」とされ、次の三つの方法が規定されている。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">— 放射化金属等の試料（品質管理用保存試料など）又は同じ材料の種類試料の化学分析を行う方法。— 放射化金属等と同じ材料種類試料、又は同種材料種類試料の化学分析結果の文献データ、材料証明書を収集する方法。— 放射化金属等と同じ材料種類に関する材料規格の元素成分データを収集する方法。 |
|--|

三つの方法を適用した例である、「附属書 I（参考） 濃度比を用いる場合の計算例」の「表 I. 3—各元素の元素分析データ収集結果（ZrTN804D）」（別添 1 参照）（BWR のチャンネルボックス本体材料であるジルカロイ 4（ZrTN804D）に適用した例）には、材料の規格に主成分及び不純物成分（「表 G. 10—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（主成分）」、「表 G. 11—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（不純物成分）」（別添 1 参照）として規定されている Cr、Sn が記載されていない。また、Cr については Fe+Cr としての制限もある。同様に、「表 I. 4—各元素の元素分析データ収集結果（SUS304）」（PWR の制御棒被覆管材料である 18-8 ステンレス鋼（SUS304）に適用した例）には、材料の規格に主成分及び不純物成分（「表 G. 12—SUS304 の化学成分の製造管理目標値」別添 1 参照、ただし、残量としての Fe は未記載）として規定されている Cr、C、Si、Mn、P が記載されていない。いずれも起源元素のみを対象としてデータ収集していることが原因で、非起源元素を含む総量が 100%であることを考慮した記載は見当たらない。

また、上記三つの方法の文中に「同じ材料の種類」、「同じ材料種類」、「同種材料種類」という用語が使用されているが、これらの用語の使い分けについて、日本原子力学

会は、次のように説明している⁴⁹。

標準では次のように扱っています。なお、「同じ材料の種類」と「同じ材料種類」は同じです。

同じ材料種類： 品番までが同じ材料種類（例 SUS304）

同種の材料種類： 品種までが同じ材料種類（例 SUS）

評価対象材料には化学成分規定元素と規定されていない添加元素及び微量元素が含まれている。起源元素の成分量を適切に推定するには、非起源元素の成分量も把握して材料の規格規定値を逸脱しないようにする必要があるが、上記説明を踏まえると、評価対象材料の化学成分規定に外れた材料も「同種の材料種類」としてデータ収集できるとしている。「同種の材料種類」の場合は、品番ごとに化学成分の種類と量が異なっており、添加元素の違いもあるので同じ化学成分量と見なすことは妥当ではない。また、文献データについては相当古いものも存在すると考えられるが、最新の分析技術に基づく検出感度を考慮すると適切な値ではない可能性がある。したがって、評価対象とする放射化金属等の種類、材料を考慮した上で、元素成分データの収集方法は、「放射化金属等の試料（品質管理用保存試料など）又は採取した試料の化学分析を行う方法（過去に分析した試料であって微量元素が検出限界未満のものについては、分析技術の進歩を踏まえて再分析した値に置き換えることができる。）」又は「放射化金属等の当該材料又は同一化学成分仕様の材料の化学分析記録（材料証明書を含む。）を収集する方法。」であることが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

「6.1.2.2.2 起源元素の元素成分データの収集方法」は「6.1.2.2.2 元素成分データの収集方法」に適正化することを要望する。

- ④「6.1.2.2.3 起源元素の成分条件の設定方法」において、「起源元素の元素成分条件は、次のいずれかの方法で設定する。」と規定し、「代表値を設定する方法」、「濃度分布から設定する方法」、「濃度範囲を設定する方法」の方法を規定している。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">— 代表値を設定する方法 収集した起源元素の元素成分データによって、濃度の代表値を設定する。— 濃度分布から設定する方法 収集した起源元素の元素成分データの濃度分布を踏まえ、複数の代表的濃度（例 平均濃度、信頼上限値など）を設定する。— 濃度範囲を設定する方法 収集した起源元素の元素成分データの濃度範囲を踏まえ、最大濃度、最小濃度を設定する。 |
|--|

いずれかの方法を選択可能とするには同等性が必要であるが、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⁵⁰。

評価対象とする放射化金属の放射能(最大放射能濃度又は総放射能量)によって、

⁴⁹ 第4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4-2-2「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」回答6

⁵⁰ 第4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4-1「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」回答1

適用する元素成分条件の設定方法、及びそれぞれの保守性などの設定条件が異なるため、同等性が得られるものではありません。

なお、概ね、下記の大小関係にあると考えられます。

「濃度範囲を設定する方法」(最大値) \geq 「代表値を設定する方法」(最大値)
 \geq 「濃度分布から設定する方法」(信頼上限) \geq 「濃度分布から設定する方法」(平均) \geq 「代表値を設定する方法」(平均) \geq 「濃度範囲を設定する方法」(最小値)

その元素成分条件の設定方法を適用の評価方法による区分は、表 1-1 に示す適用を想定しています。

表 1-1 元素成分条件の設定方法

評価対象及び方法	点推定法		区間推定法	
	最大放射能濃度	平均放射能濃度	最大放射能濃度	平均放射能濃度
適用する元素の成分条件の設定方法	代表値を設定する方法(最大値)	<ul style="list-style-type: none"> 濃度分布から設定する方法(平均) 代表値を設定する方法(平均) 	<ul style="list-style-type: none"> 濃度範囲を設定する方法(最大値) 代表値を設定する方法(最大値) 濃度分布から設定する方法(信頼上限) 	<ul style="list-style-type: none"> 濃度分布から設定する方法(平均) 代表値を設定する方法(平均)
適用区分	<ul style="list-style-type: none"> 収集した元素分析結果の最大値が利用できる場合 JIS などの規格値の上限値を適用する場合 	<ul style="list-style-type: none"> ① 収集した元素分析結果が利用できる場合(平均) ② JIS などの規格値の平均値を適用する場合 	<ul style="list-style-type: none"> ① JIS などの規格値の上限値を適用する場合 ② 収集した元素分析結果の最大値が利用できる場合 ③ ランダムサンプリング用の入力用設定分布から設定する場合(評価結果の信頼上限) 	<ul style="list-style-type: none"> ① ランダムサンプリング用の入力用設定分布から設定する場合(評価結果の平均) ② 収集した元素分析結果が利用できる場合

換算係数法で評価対象物の条件を網羅する評価(ランダムサンプリングによって)した場合の換算係数及び放射能濃度の決定方法を附属書 J に示しました代表値(平均など)による評価と比較する形で表 1-2 に示しました。

なお、標準附属書 J には換算係数法における「J. 1. 2 放射化計算の条件の設定」の例として、「a) 元素成分条件」を「各元素の代表値を 1 点設定する」としていますが、これは平均放射能濃度を評価する例を示しているため代表値で設定していますが、標準では代表値、ランダムサンプリングどちらでも設定可能としており、最大放射能濃度の評価では入力条件をランダムサンプリングとすることを考えて

います。

表 1-2 ランダムサンプリング及び代表値による換算係数及び放射能濃度の決定方法

	評価対象物の条件を網羅する評価	代表値（平均など）による評価
元素成分条件	濃度分布から設定する方法でランダムサンプリングによって濃度を設定（必要数を繰り返し設定）	濃度分布から設定する方法によって代表値（平均値）を設定
中性子条件	事前に燃焼度ごとに、個々に評価した炉内の中性子フルエンス率（中性子スペクトル含む）の分布から、ランダムサンプリングによって選択し、その位置の中性子フルエンス率で設定（必要数を繰り返し設定）	事前に燃焼度ごとに、軸方向は 24 分割ごとに計算した平均値、径方向は燃焼度の違いを補正した炉内平均中性子フルエンス率で設定
燃焼度	管理指標とする燃焼度（例 0～55GWd/t の管理範囲から、数点の代表燃焼度：例（10、20、30、40、45、50、55 GWd/t））を設定する。	同左
換算係数	上記の入力条件での各燃焼度に対する放射能濃度の分布を評価し、分布より換算係数（放射能濃度／燃焼度）を平均又は信頼上限値として算出する。	上記の入力条件での各燃焼度に対する放射能濃度を評価し、換算係数（放射能濃度／燃焼度）を算出する。
放射能濃度	管理記録から評価対象物の燃焼度を設定し、換算係数を乗じて、放射能濃度（平均値、最大値）を決定する。	管理記録から評価対象物の燃焼度を設定し、換算係数を乗じて、放射能濃度（平均値）を決定する。

ここで示します「信頼上限」の評価に適用する有意水準に関しては、表 1-3 の考え方を基本としています。

表 1-3 信頼上限の適用区分

有意水準	95 %	99 %
適用理由	平均値と平均値の信頼下限値の差（すなわち不確定性の大きさ）の推移評価を行う「相対比較」に関しては、一般的な有意水準としての適用が多い 95 %を適用する。	評価する分布の標準偏差の「値」として適用する場合には、より信頼を高くするために、99 %を適用する。

元素成分条件を「代表値を設定する方法」、「濃度分布から設定する方法」及び「濃度範囲を設定する方法」のいずれかの方法で設定と規定されているが、日本原子力学会は、同等ではなく使い分けるものとしている。また、換算係数法に関する「附属書 J（参考）換算係数を用いる場合の計算例」の「J. 1. 2 放射化計算の条件の設定」において、「a）元素成分条件」を「各元素の代表値を 1 点設定する」と規定されていることについて、「これは平均放射能濃度を評価する例を示しているため代表値で設定していますが、標準では代表値、ランダムサンプリングどちらでも設定可能としており、最大放射能濃度の評価では入力条件をランダムサンプリングとすることを考えている」としている。

「J. 1. 2 放射化計算の条件の設定」は換算係数法の「J. 1 基本的な考え方」の下位規定

であり、換算係数法全体に適用される。また、「附属書 J (参考) 換算係数を用いる場合の計算例」には「平均放射能濃度」の記載はない。「附属書 J (参考) 換算係数を用いる場合の計算例」は最大放射能濃度及び総放射能濃度に対応する記載であることが分かるよう整理が必要である。

「附属書 (参考) 換算係数を用いる場合の計算例」に示された例によれば、BWR のチャンネルボックス本体材料であるジルカロイ 4 (ZrTN804D) の主成分は「表 G. 10—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値 (主成分)」に示すように、Sn+Fe+Cr が 1.48～2.07%あるので、残部の Zr は最大でも 98.52%を超えることはない。しかし、「表 I. 17—ZrTN804D の元素成分条件の放射化計算用データの設定結果」(添付資料—2 参照) に示す値は、ランダムサンプリングの 40 点中 No.1, 4, 8, 9, 10, 13, 17, 23, 24, 28, 36 を除く 29 点が Zr の許容最大値を超えている。同様に、PWR の制御棒被覆管材料である 18-8 ステンレス鋼 (SUS304) の主成分は「表 G. 12—SUS304 の化学成分の製造管理目標値 (主成分)」(別添 1 参照) に示すように、Ni が 8.0～10.5%、Cr が 18.0～20.0%あるので、残部の Fe は最大でも 74.0%を超えることはない。しかし、「表 I. 19—SUS304 の元素成分条件の放射化計算用データの設定結果」(添付資料—3 参照) に示す値は、ランダムサンプリングの 40 点中 No.6, 8, 16, 26, 30, 33, 37, 38, 40 の 9 点が Fe の許容最大値を超えている。また、「表 G. 12」に記載する不純物成分 (C+Si+Mn+P+S) と主成分 (Ni+Cr) の最大値の合計は 33.65%であり、それに微量元素の存在を考慮すると、残部の Fe は最小でも約 66.2%を下回ることはないが、「表 I. 19」においては No. 17 の 1 点が Fe=60.0%と下回っている。ランダムサンプリングで設定する場合は規格制限値を外れないように起源元素以外の元素も含めて総和が 100%となるように設定する必要がある。

起源元素の成分量を適切に設定するには、上記③でも述べたように、非起源元素を含む元素成分条件 (元素個々の成分範囲、特定の元素の組合せによる成分範囲及び主成分元素が総量 100%の残量として規定される場合の成分範囲) を満足するように決定する必要がある。起源元素の元素成分条件の設定においては、材料の主元素については残量とし、起源元素及び非起源元素の総和を 100%とすること、低炭素ステンレス鋼における C 量+N 量のように、元素ごとの成分範囲に加えて特定の元素の組合せで成分範囲が規定されているものは、その条件を満足するように設定することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

また、「代表値を設定する方法」、「濃度分布から設定する方法」、「濃度範囲を設定する方法」の規定については、上記及び最大放射能濃度を求める観点を考慮し、いずれの方法を選択したかについては、その妥当性が説明されるよう、「点推定法における設定方法」は「収集した起源元素及び非起源元素の元素成分データによって、濃度の保守的な値を設定する。」、「区間推定法において濃度分布から設定する方法」は「収集した起源元素及び非起源元素の元素成分データを踏まえ、濃度分布の型及びその平均値・標準偏差等から複数の代表的濃度 (例 平均又は中央値濃度、信頼上限値など) を設定する。」、

「区間推定法において濃度範囲を設定する方法」は「収集した起源元素及び非起源元素の元素成分データの濃度範囲を踏まえ、最大濃度、平均又は中央値濃度、最小濃度を設定する。」ことが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

「6.1.2.2.3 起源元素の成分条件の設定方法」は「6.1.2.2.3 起源元素及び非起源元素の成分条件の設定方法」に適正化することを要望する。

(3) 要望事項

- 「6.1.2.2 元素成分条件」における「構成材料を考慮して」は、当該材料以外のものでも許容されるような記載であることから、評価の条件、評価対象とする放射化金属等の構成材料に基づき、起源元素を選定し、構成材料の元素成分データを収集することが分かるよう規定を明確にすることを要望する。
- 「種々のソース」は適用可能範囲が広すぎて当該構成材料の元素成分の特徴を希薄にする可能性があることから、規定を整理することを要望する。
- 当該材料の元素成分においては意図しない循環性元素の存在や溶着金属の存在に着目する必要があることから、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）材が含まれている場合は、意図しない循環性元素（トランプエレメント）の存在を考慮すること、溶接部にあっては必要に応じて溶着金属の化学組成を考慮することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。
- 「6.1.2.2.2 起源元素の元素成分データの収集方法」における「同じ材料の種類」と「同種の材料種類」は異なるとされており、「放射化金属等の種類（材料）」が両者のどちらに区分されるのか不明確であることから、規定を明確にすることを要望する。
- JIS等の材料規格に規定する試験成績書（ミルシート）に記載されない添加元素については、品質管理用保存試料の化学分析結果を利用する方法や材料メーカ又はプラントメーカが保存している分析記録を利用する方法があり、特別要求仕様を考慮する必要があることが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。
- 「6.1.2.2.1 起源元素の選定方法」における「なお、起源元素は、次のステップ（全て又はいずれか）によって、対象からスクリーニングすることができる。」のスクリーニングは、スクリーニングアウトであることを明確にすることを要望する。
- 材料の精錬時などに揮散によって除去されることが説明できる元素及び揮散後にも一部が残留すると想定されるが、評価対象核種の総生成放射能に対する寄与が小さいことが説明できる元素は除外できる。しかし、後工程で添加される元素、混入する可能性が高い物質の元素は考慮する必要があることから、規定を明確にすることを要望する。
- 中性子スペクトルは、高速中性子が支配的な場合（スペクトルが硬い）と熱中性子が支配的な場合（スペクトルが軟らかい）で、生成核種の放射化断面積の中性子エ

エネルギー依存性を考慮する必要がある。評価対象核種の総生成放射能に対する寄与は一律に求まるものではないことから、「寄与が小さい元素」は「寄与が小さいことが説明できる元素」であることが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

- 元素成分データの収集方法は、「放射化金属等の試料（品質管理用保存試料など）又は採取した試料の化学分析を行う方法（過去に分析した試料であって微量元素が検出限界未満のものについては、分析技術の進歩を踏まえて再分析した値に置き換えることができる。）」又は「放射化金属等の当該材料又は同一化学成分仕様の材料の化学分析記録（材料証明書を含む。）を収集する方法。」であることが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。
- 「6.1.2.2.2 起源元素の元素成分データの収集方法」は「6.1.2.2.2 元素成分データの収集方法」に適正化することを要望する。
- 起源元素の元素成分条件の設定においては、材料の主元素については残量とし、起源元素及び非起源元素の総和を 100%とすること、低炭素ステンレス鋼における C 量+N 量のように、元素ごとの成分範囲に加えて特定の元素の組合せで成分範囲が規定されているものは、その条件を満足するように設定することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。
- 「点推定法における設定方法」は最大放射能濃度を求める観点を検討し、規定を明確にすることを要望する。
- 「6.1.2.2.3 起源元素の成分条件の設定方法」は「6.1.2.2.3 起源元素及び非起源元素の成分条件の設定方法」に適正化することを要望する。

4. 4. 2 中性子条件の設定方法

中性子条件の設定方法については「6.1.2.3 中性子条件」に規定している。

(1) 規定の内容

6.1.2.3 中性子条件

評価対象とする放射化金属等に対する次の中性子フルエンス率・中性子スペクトル、及び放射化断面積を設定する。

注記 詳細は、附属書 F 及び附属書 G 参照。

- a) 中性子フルエンス率・中性子スペクトル 中性子フルエンス率・中性子スペクトルは、原子炉及び燃料の配置を考慮した中性子輸送計算コードなどによって適切に評価して設定する。中性子輸送計算コードは、詳細モデルの要求レベル及び精度の要求レベルと合わせて適用することが適切である。

例 中性子輸送計算のモンテカルロ法などは、原子炉の中性子の詳細条件及び評価対象範囲に設置されている構造物などの条件への適合が要求される場合にも、構造物などの条件に合わせる事が可能である。

- b) 放射化断面積 a) の条件を考慮して、次のいずれかの方法で設定する。

— 使用する放射化計算コードに内蔵又は附属されている放射化断面積ライブラリか

ら選択する。このとき、最新の計算コード及び放射化断面積ライブラリを確認する。
— 中性子フルエンス率の評価結果から、放射化範囲の中性子スペクトルの特性を考慮して放射化断面積を設定する。

(2) 検討の結果

- ① 「6.1.2.3 中性子条件」において、「評価対象とする放射化金属等に対する次の中性子フルエンス率・中性子スペクトル、及び放射化断面積を設定する。」と規定し、注記で「詳細は、附属書F及び附属書G参照」としている。「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」の「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(別添1参照)には、「燃料条件」や「炉内位置」のほかに「その他」として「ボイド率(BWR)」、「ホウ素濃度(PWR)」、「温度分布」及び「ディプレッション効果」が記載されている。BWRのボイド率については、ほかに「附属書F(参考)放射化計算を行う場合の計算例」、「附属書G(参考)放射化計算の入力条件の設定例」、「附属書I(参考)濃度比を用いる場合の計算例」及び「附属書J(参考)換算係数を用いる場合の計算例」においても記載があり、考慮すべき重要な因子であることは明確である。これらを踏まえ、規定を明確にすることを要望する。
- ② 「a)中性子フルエンス率・中性子スペクトル」には、「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。」とされている。「中性子輸送計算コードなど」の具体的内容について、日本原子力学会は、次のように説明している⁵¹。

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

計算コードについては、下記③で述べるように断面積ライブラリの更新等により、従前の計算コードが使えなくなることもあり、信頼性が確認された最新のものを適用することが望ましい。

また、「中性子輸送計算コードは、詳細モデルの要求レベル及び精度の要求レベルと合わせて適用することが適切である。」と規定し、「例 中性子輸送計算のモンテカルロ法などは、原子炉の中性子の詳細条件及び評価対象範囲に設置されている構造物などの条件への適合が要求される場合にも、構造物などの条件に合わせる事が可能である。」としている。要求レベルを満足するものを使用することが前提であることを踏まえ、規定を明確にすることを要望する。

⁵¹ 第4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4-2-2「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」回答7

③ 「b)放射化断面積」には、使用する放射化計算コードの放射化断面積ライブラリ又は中性子フルエンス率の評価結果のいずれかの方法で設定すると規定されている。

- a)の条件を考慮して、次のいずれかの方法で設定する。
- 使用する放射化計算コードに内蔵又は附属されている放射化断面積ライブラリから選択する。このとき、最新の計算コード及び放射化断面積ライブラリを確認する。
 - 中性子フルエンス率の評価結果から、放射化範囲の中性子スペクトルの特性を考慮して放射化断面積を設定する。

その同等性について、日本原子力学会は、次のように説明している⁵²。

ORIGEN2 コードシリーズについては、コードに付属する放射化断面積ライブラリの使用又は中性子フルエンス率の評価結果である中性子スペクトルに基づき放射化断面積を作成して使用することとなります。

ORIGEN コードシリーズについては、中性子フルエンス率の評価結果より、3群の中性子フルエンス率の比(スペクトルインデックス)に基づく放射化断面積がコード内で作成されることとなります。

以上のいずれの方法においても、評価対象位置の中性子スペクトルを考慮した放射化断面積を使用して放射化計算を実施するという観点においては同等と考えます。

計算コードから求めた放射化断面積(ORIGEN2 コードに付属する放射化断面積)と、中性子フルエンス率の評価結果から放射化断面積を設定した値を比較した例がないため、両者の計算式が同等であることを示します。

ORIGEN2 コードにおける中性子スペクトルの評価結果から放射化断面積を作成する処理は、以下のとおり行います。(6)式は、ORIGEN2 コード付属の放射化断面積ライブラリである ORLIBJ40^[1]での1群断面積の作成の式([1]文献の2-5式)と同じであるため、計算式は同等です。

<中性子スペクトルの評価結果から放射化断面積(1群断面積)の作成処理>

放射化反応率 I は連続的な分布を持つ中性子フルエンス率 $\Phi(E)$ と放射化断面積 $\sigma(E)$ に対して、エネルギーで積分することで(1)式により求めることが出来る。

$$I = \int \Phi(E) \cdot \sigma(E) dE \quad (1)$$

しかし、本検討における中性子フルエンス率は、輸送計算コードを利用して得られる中性子フルエンス率は、多群のエネルギー群構造のものとなる。

そのため、放射化反応率 I は、(2)式で与えられることとなり、輸送計算コードのエネルギー群構造に応じた放射化断面積 σ_g を(3)式により求める必要がある。

⁵² 第4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 4-1「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」回答 1(1)

$$I = \sum_{g=1}^{g_{max}} \Phi_g \cdot \sigma_g \quad (2)$$

$$\sigma_g = \int_{E_i}^{E_{i+1}} \sigma(E) dE \quad (3)$$

また、ORIGEN2 コードで用いる 1 群縮約された放射化反応率 I は、(4)式により求められる。

$$I = \Phi \cdot \langle \sigma \rangle \quad (4)$$

ここで、 Φ は全中性子フルエンス率であり、 $\langle \sigma \rangle$ は 1 群縮約された放射化断面積である。

全中性子フルエンス率 Φ は、(5)式のとおり定義される。

$$\Phi = \int \Phi(E) dE \approx \sum_{g=1}^{g_{max}} \Phi_g \quad (5)$$

よって、1 群縮約された放射化断面積 $\langle \sigma \rangle$ は、(1)、(2)、(4)、(5)式を用いて、(6)式により求めることが出来る。

$$\langle \sigma \rangle = \frac{\int \Phi(E) \cdot \sigma(E) dE}{\int \Phi(E) dE} \approx \frac{\sum_{g=1}^{g_{max}} \Phi_g \cdot \sigma_g}{\sum_{g=1}^{g_{max}} \Phi_g} \quad (6)$$

一方、ORIGEN2 コード付属の放射化断面積ライブラリである ORLIBJ40^[1]での 1 群断面積の作成の式 ([1]文献の 2-5 式) は以下のとおりであり、(6)式と同じです。

(σ_x^i は放射化断面積、 ψ は中性子フルエンス率を表します。)

$$\langle \sigma_x^i \rangle = \frac{\int \sigma_x^i(E) \psi(E) dE}{\int \psi(E) dE} \approx \sum_{g=1}^{NG} \sigma_{x,g}^i \psi_g / \sum_{g=1}^{NG} \psi_g \quad (2-5)$$

なお、(6)式、(2-5)式共に左辺の積分に対して右辺では Σ となっているが、近年の輸送計算では 100~200 群程度で取り扱っており、結果への影響は小さいものと考えられる。

[1]奥村啓介他「JENDL-4.0 に基づく ORIGEN2 用断面積ライブラリセット」JAEA-Data/Code2012-032

また、「最新の計算コード及び放射化断面積ライブラリを確認する」と規定されている。最新の計算コード及び放射化断面積ライブラリの妥当性の確認方法について、日本原子力学会は、次のように説明している⁵³。

⁵³ 第 4 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 4-1「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」回答 1(2)

利用する計算コード及び核データ（放射化断面積ライブラリ）が最新であることの確認は、以下のウェブサイトを参照して確認します。最新版が発行された際には、初期不具合等の報告が収束するのを確認してから使用します。

計算コード：高度情報科学技術研究機構（RIST）

放射化断面積ライブラリ（核データ）：

日本原子力研究開発機構 核データ研究グループ

米国ブルックヘブン国立研究所 国際核データセンター

放射化断面積ライブラリの変更された場合の妥当性評価については、発行元の文献にて妥当性評価を参照して確認します。

例えば、JENDL 4.0 の放射化断面積が発行された際の文献[1] を参照し、PWR 使用済み燃料の照射後解析の結果（下の図 3.4-7 及び図 3.4-8）から、計算値（C）と実験値（E）について、JENDL-4.0 による計算結果は、ほぼ 10 %以内で実験値を再現しており、JENDL-3.3 に比べて JENDL-4.0 の予測精度が改善されていると評価されています。

[1]奥村啓介他「JENDL-4.0 に基づく ORIGEN2 用断面積ライブラリセット」JAEA-Data/Code2012-032

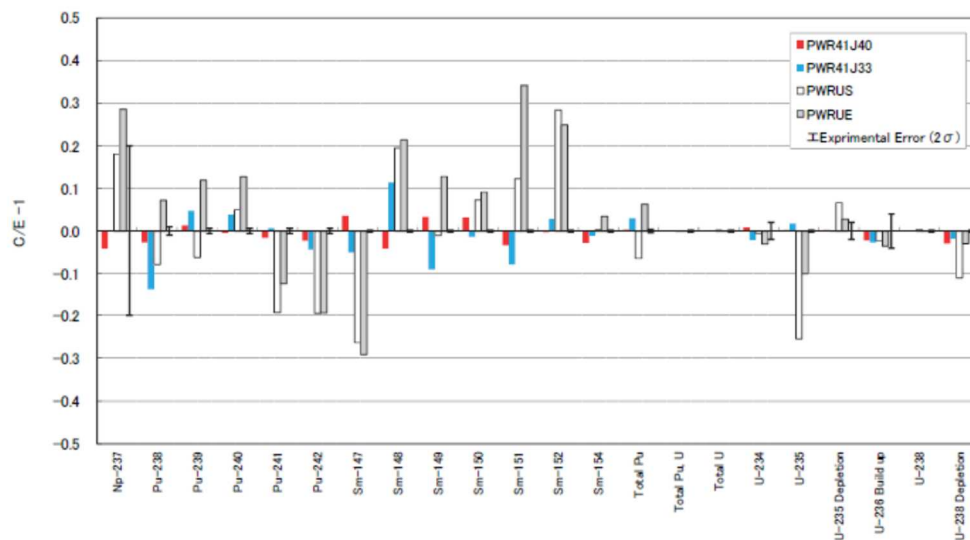


図 3.4-7 高浜3号炉使用済み燃料組成の計算値(C)と実験値(E)との比較(その1)

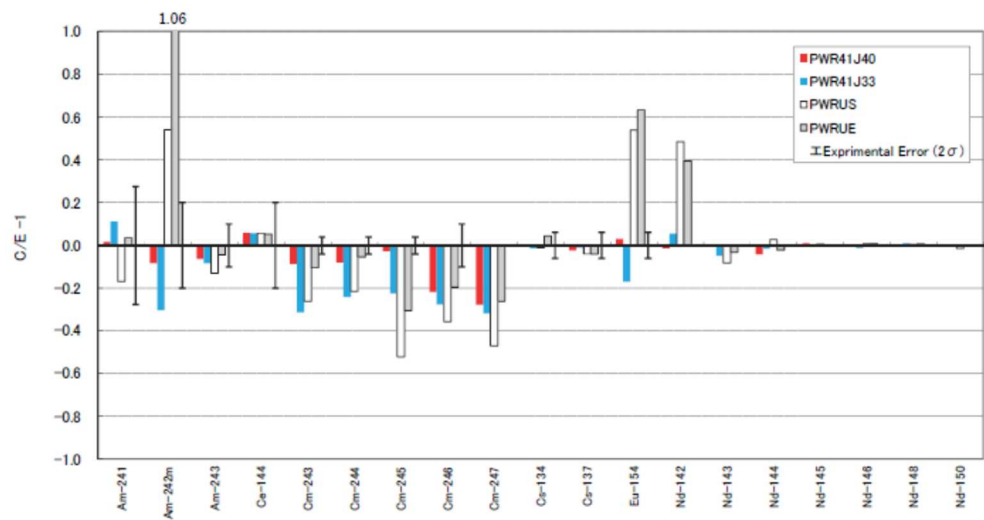


図 3.4-8 高浜 3 号炉使用済み燃料組成の計算値(C)と実験値(E)との比較(その 2)

放射化断面積ライブラリは使用する放射化計算コードに内蔵又は附属されているものから選択し、最新の計算コード及び放射化断面積ライブラリを確認するとしているが、同ライブラリは更新されるため信頼性が確認された評価済の核データライブラリから作成されたものを使用する必要がある。また、ライブラリによっては放射化断面積の値が異なることも想定されるので、その場合は適切なものを選定する必要があることから、「放射化断面積ライブラリは信頼性が確認された評価済核データライブラリから作成されたものを使用する。なお、使用する放射化断面積の値がライブラリによって異なる場合は適切なものを選定する。」ことが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。また、「—中性子フルエンス率の評価結果から、放射化範囲の中性子スペクトルの特性を考慮して放射化断面積を設定する。」と規定されているが、中性子スペクトルのことも述べているので、中性子フルエンス率・中性子スペクトルの評価結果から、放射化断面積を設定することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

(3) 要望事項

- BWR のボイド率については、「附属書 F (参考) 放射化計算を行う場合の計算例」、「附属書 G (参考) 放射化計算の入力条件の設定例」、「附属書 I (参考) 濃度比を用いる場合の計算例」及び「附属書 J (参考) 換算係数を用いる場合の計算例」を踏まえ、規定を明確にすることを要望する。
- 「中性子輸送計算コードは、詳細モデルの要求レベル及び精度の要求レベルと合わせて適用することが適切である。」については要求レベルが何か分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

- ライブラリによっては放射化断面積の値が異なることも想定されるので、その場合は適切なものを選定する必要があることから、規定を明確にすることを要望する。
- 「中性子フルエンス率の評価結果から、放射化範囲の中性子スペクトルの特性を考慮して放射化断面積を設定する。」と規定されているが、中性子スペクトルのことも述べているので、中性子フルエンス率・中性子スペクトルの評価結果から、放射化断面積を設定することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

4. 4. 3 照射条件の設定方法

照射条件の設定方法については「6. 1. 2. 4 照射条件」に規定している。

(1) 規定の内容

6. 1. 2. 4 照射条件

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

注記 詳細は、附属書 F 及び附属書 G 参照。

- a) 個別に照射履歴を設定する方法 放射化金属等ごとに、中性子の照射履歴に基づき、適切又は保守的に代表する照射条件を設定する。
- b) 代表照射履歴を設定する方法 中性子の照射履歴に基づき、放射化金属等のグループを適切又は保守的に代表する照射条件を設定する。

なお、換算係数法、濃度比法及び濃度分布評価法によって決定する場合は、複数の放射化金属等を適切に代表する照射条件の範囲又は分布を設定してもよい。

(2) 検討の結果

- ① 本文の規定内容は照射条件としての照射時間及び照射停止時間の設定に関するものであり妥当と判断する。
- ② 「a) 個別に照射履歴を設定する方法」には、「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」とされている。「適切」に代表する照射条件について、日本原子力学会は、次のように説明している⁵⁴。

照射条件設定の基本的な考え方は「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」の「D. 6. 1 中性子の照射条件設定の基本的考え方」の「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」(別添 1 参照) に示しております。また、照射条件設定における考慮事項は「D. 6. 2 中性子の照射条件設定における考慮事項」の「表 D. 9—照射条件の設定

⁵⁴ 第 4 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 4-2-2 「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」 回答 8(1)

において考慮が必要な基本事項」に示しており、「D. 6. 2. 2 中性子の照射時間」、
「D. 6. 2. 3 照射終了後の時間 (全ての照射が終了した後の)」、
「D. 6. 2. 4 照射停止時間 (供用期間中における)」ごとに、「適切」の考え方を説明しています。

例えば、「D. 6. 2. 3」においては、 ^{60}Co のような比較的短半減期核種の放射能濃度を評価する場合、照射終了後から廃棄体検査日までの減衰補正を行うことが、「適切」の一例として挙げられます。

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

上記の別紙については検討チーム会合で提示されていない⁵⁵が、日本原子力学会は「a) 個別に照射履歴を設定する方法」における「適切な」は最大放射能濃度を評価する場合には適用せず「保守的に代表する照射条件」を適用、総放射エネルギーを評価する場合には「平均値が設定可能な場合は、平均値によって設定した照射条件」を適用としている。本技術評価書は最大放射能濃度を求めることに限定しており、点推定法と区間推定法で適切と保守的の意味合いが異なることから、「個別に照射履歴を設定する方法」は、点推定法の場合は、放射化金属等ごとに、中性子の照射履歴に基づき、保守的（放射化量が大きくなるよう）に代表する照射条件を設定すること、区間推定法の場合は、中性子の照射履歴に基づき、適切に代表する照射条件を設定することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

- ③ 「b) 代表照射履歴を設定する方法」には、「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」とされている。「適切」に代表する照射条件について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁵⁶。

「a) 個別に照射履歴を設定する方法」と「適切」の意図するところは同じですが、放射化金属等のグループに対して代表的に適用する場合を示します。

「適切」については上記②と同様に「適切な」は最大放射能濃度を評価する場合には適用しないこと、「グループを (中略) 代表する」については「グループ」の指す意味、「代表する」は保守的(放射化量が大きくなるよう)に代表することが明確になるよう、規定を明確にすることを要望する。

また、「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。」が適用される範囲は「6. 1. 2. 4 照射条件」全体か、「b) 代表照射履歴を設定する方法」のみであるかについて⁵⁷、及び「適切に」設定する必要性について、日本原子力学会は、

⁵⁵ 被規制者等との面談記録（原子力の規制）令和4年3月22日、放射能濃度決定標準の技術評価に係る日本原子力学会との面談、資料6（1/37頁）に記載

⁵⁶ 第4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4-2-2「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」回答8(2)

⁵⁷ 第4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4-2-2「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」回答8(3)

次のように説明している⁵⁸。

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

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

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

「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」は、照射条件の範囲又は分布を適切に代表するのか、複数の放射化金属等を適切に代表するのか不明確であることから、規定を明確にすることを要望する。

(3) 要望事項

- 点推定法と区間推定法で適切と保守的の意味合いが異なることから、点推定法と区間推定法それぞれについて「個別に照射履歴を設定する方法」はどのような方法であるか、規定を明確にすることを要望する。
- 「グループを（中略）代表する」については「グループ」の指す意味、「代表する」は保守的（放射化量が大きくなるよう）に代表することが明確になるよう、規定を明確にすることを要望する。
- 「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」は、照射条件の範囲又は分布を適切に代表するのか、複数の放射化金属等を適切に代表するのか不明確であることから、規定を明確にすることを要望する。

4. 5 放射化計算方法

放射化計算方法については「6.1.3.1 放射化計算方法」及び「6.1.3.2 計算用入力条件の設定」に規定している。

(1) 規定の内容

6.1.3 放射化計算

6.1.3.1 放射化計算方法

放射化計算を行うに当たっては、適切な放射化計算方法を選定し、計算範囲の中性子条件の特徴を考慮し、使用する。

⁵⁸ 第4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 4-2-2 「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」回答 8(4)

注記 詳細は、附属書 A 参照。

6.1.3.2 計算用入力条件の設定

6.1.2 を踏まえ、適用する理論計算法（点推定法又は区間推定法）ごとに必要となる、次の放射化計算の入力パラメータ及び条件を、評価対象とする放射化金属等ごとに設定する。

- 元素成分条件
- 中性子条件
- 照射条件

なお、区間推定法を適用する場合は、各入力パラメータ及び条件について、6.1.2 で評価した入力条件の分布又は範囲から、ランダムに抽出して放射化計算の入力データとして設定するか、又は、適切な代表的条件を放射化計算の入力条件として設定する。

注記 詳細は、附属書 I、附属書 J 及び附属書 K 参照。

(2) 検討の結果

- ① 「6.1.3.1 放射化計算方法」には、「放射化計算を行うに当たっては、適切な放射化計算方法を選定し、計算範囲の中性子条件の特徴を考慮し、使用する」とされている。何に対して「適切な」のかについて、日本原子力学会は、次のように説明している⁵⁹。

適切な放射化計算方法の選定に関しては、別紙「II. 附属書に関する気付き事項」の「1. 附属書 A（参考）理論計算法の適用方法及び手順」の「④「A.3 放射化計算コードの例」の計算コードについて」にその考え方をご提示しておりますので、これを参照ください。

上記は5種類の ORIGIN コードの特徴と使い分けについて記載してものであり、何が適切かは示していない。規定は、「放射化計算を行うに当たっては、適切な放射化計算方法を選定し、計算範囲の中性子条件の特徴を考慮し、使用する。」とあるが、日本原子力学会の説明によれば、「計算範囲の中性子条件の特徴を考慮」して適切な放射化計算方法を選定することであり、放射化計算方法の選定に考慮すべきことであることから、「放射化計算を行うに当たっては、計算範囲の中性子条件の特徴を考慮し、適切な放射化計算方法を選定し、使用する。」ことが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

- ② 「6.1.3.2 計算用入力条件の設定」は、次のように規定している。

6.1.2 を踏まえ、適用する理論計算法（点推定法又は区間推定法）ごとに必要となる、次の放射化計算の入力パラメータ及び条件を、評価対象とする放射化金属等ごとに設定する。

- 元素成分条件
- 中性子条件
- 照射条件

入力パラメータの「パラメータ」については規定されていないこと、「パラメータ」とは元素成分、中性子、照射履歴を指すことから、以下のように、規定を明確にするこ

⁵⁹ 第4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 4-2-2 「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」回答 9

とを要望する。

6.1.2 を踏まえ、適用する理論計算法（点推定法又は区間推定法）ごとに必要となる、次の放射化計算の入力条件を、評価対象とする放射化金属等ごとに設定する。

- a) 元素成分
- b) 中性子
- c) 照射履歴

また、区間推定法を適用する場合は、各入力パラメータ及び条件について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されている。何に対して「適切」なのかについて、日本原子力学会は、次のように説明している⁶⁰。

ランダム抽出以外の「適切な」代表的条件としましては、標準 6.1.2.2.3 及び 6.1.2.4 に記載しておりますように、次のようになります。（4.2.3(2)①参照）

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

注1) 例 チャンネルボックスの中央位置

最大放射能濃度を求める場合と総放射エネルギーを求める場合とでは、適切な代表的条件は異なる。「4.4.3 照射条件の設定方法」(2)②で紹介した別紙では、日本原子力学会は「適切な代表的条件を放射化計算の入力条件として設定」を次のように説明している。

区間推定法：

- 元素成分条件：元素濃度分布の「平均 + 3σ 濃度」、「99%信頼上限濃度」、「最大値」
- 中性子条件：最大値
- 照射条件：最大値

元素成分条件の範囲については、特定の濃度分布に基づく場合には平均値や標準偏差が利用できるが、濃度範囲に基づく場合にはその最大値と最小値から複数の値を設定する必要がある。

区間推定法を適用する場合は、起源元素の成分条件の範囲について、特定の濃度分布に基づく場合は、その平均値や標準偏差から、濃度範囲に基づく場合は、その最大値と最小値から複数の値を設定し、他の各入力条件について、最大放射能濃度を求める観点に立って、6.1.2 で評価した入力条件の分布又は範囲から、ランダムに抽出して放射化計算の入力データとして設定するか、又は、適切な条件を放射化計算の入力条件として設定することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。さらに、適切な条件、とは何か規定を明確にすることを要望する。

なお、「6 放射能濃度決定方法の手順」で参照する附属書について、「附属書 F (参考) 放射化計算を行う場合の計算例」の評価対象物と、「附属書 I (参考) 濃度比を用いる場合の計算例」、「附属書 J (参考) 換算係数を用いる場合の計算例」及び「附属書 K (参

⁶⁰ 第4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 4-2-2 「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」 回答 10(1)

考) 濃度分布評価法によって決定する場合の計算例」の評価対象物は同じであるが、「附属書 F (参考) 放射化計算を行う場合の計算例」で用いている理論計算法⁶¹は、点推定法又は区間推定法のいずれを用いたかについて、明確には記載されていない。これについて、日本原子力学会は、次のように説明している⁶²。

PWR 制御棒について、「附属書 F (参考) 放射化計算を行う場合の計算例」の「F. 2 PWR 制御棒」に示している評価は、「図 F. 5—分析試料の採取概念図 (PWR 制御棒)」に示します制御棒の特定位置から採取した試料の放射化分析結果と比較するために行っております。したがって、点推定法を用いています。

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

附属書の記載内容を精査すれば点推定法を用いていると推定することは可能であるが、利用者の便宜のために用語の統一を含めて適正化することを要望する。

(3) 要望事項

- 「放射化計算を行うに当たっては、適切な放射化計算方法を選定し、計算範囲の中性子条件の特徴を考慮し、使用する。」は「計算範囲の中性子条件の特徴を考慮」して適切な放射化計算方法を選定することであり、放射化計算方法の選定に考慮すべきことであることから、これを踏まえ規定を明確にすることを要望する。
- 入力パラメータの「パラメータ」については規定されていないこと、「パラメータ」とは元素成分、中性子、照射履歴を指すことから、規定を明確にすることを要望する。
- 区間推定法を適用する場合は、起源元素の成分条件の範囲について、特定の濃度分布に基づく場合は、その平均値や標準偏差から、濃度範囲に基づく場合は、その最大値と最小値から複数の値を設定し、他の各入力条件について、最大放射能濃度を求める観点に立って設定することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。
- 適切な条件、とは何か規定を明確にすることを要望する。
- 「附属書 F (参考) 放射化計算を行う場合の計算例」で用いている理論計算法は点推定法であることが分かるよう、用語の統一を含めて適正化することを要望する。

⁶¹ 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」と記載されている。

⁶² 第 4 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 4-2-2 「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」回答 2

4. 5. 1 放射化計算の計算数の設定

放射化計算の計算数については「6. 1. 3. 3 放射化計算の計算数の設定」に規定している。

(1) 規定の内容

6. 1. 3. 3 放射化計算の計算数の設定

6. 1. 3. 3. 1 点推定法

必要計算数は、評価対象とする放射化金属等の大きさ及び中性子フルエンス率の差異（例 1 参照）、評価対象とする放射化金属等の部位の特徴（例 2 参照）などを考慮して決定する。

例 1 大型又は複雑な対象物の場合で、中性子フルエンス率が対象物の異なる部位で変化する場合は、中性子フルエンス率を考慮した幾つかの区分に分割して計算した平均値又は代表値を使用する。

例 2 評価対象とする放射化金属等の放射能濃度の最大値を示す部位が明確な場合は、その部位 1 点で計算した代表値で評価する。

6. 1. 3. 3. 2 区間推定法

実施した放射化計算結果の数が、放射能濃度決定のための評価データとして十分かについては、放射化計算を行った数とその放射化計算結果とが示す統計値の安定性の推移を踏まえて判断する。

注記 詳細は、A. 4. 3 参照。

(2) 検討の結果

- ① 「6. 1. 3. 3 放射化計算の計算数の設定」における本文規定はないが、計算数の設定には評価対象起源元素の種類数等の元素成分条件が大きく影響することから、元素成分条件は評価対象の起源元素の種類と分布又は範囲の組合せを考慮することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。
- ② 「6. 1. 3. 3. 1 点推定法」において、「必要計算数は、評価対象とする放射化金属等の大きさ及び中性子フルエンス率の差異（例 1 参照）、評価対象とする放射化金属等の部位の特徴（例 2 参照）などを考慮して決定する。」として、例 1 及び例 2 を記載しているが、両者とも参考であることから、必要な計算数は、評価対象とする放射化金属等の大きさ及び中性子フルエンス率の差異、評価対象とする放射化金属等の部位の特徴などを考慮して決定することが分かるよう、規定を明確化することを要望する。
- ③ 「6. 1. 3. 3. 2 区間推定法」において、「実施した放射化計算結果の数が、放射能濃度決定のための評価データとして十分かについては、放射化計算を行った数とその放射化計算結果とが示す統計値の安定性の推移を踏まえて判断する。」としているが、計算数の設定には元素成分条件が大きく影響することから、実施した放射化計算結果の数が、放射能濃度決定のための評価データとして十分かについては、起源元素の種類と分布又は範囲の組合せも考慮して放射化計算を行った数とその放射化計算結果とが示す統計値の安定性の推移を踏まえて判断することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

(3) 要望事項

- 「6.1.3.3 放射化計算の計算数の設定」における計算数の設定には評価対象起源元素の種類数等の元素成分条件が大きく影響することから、元素成分条件は評価対象の起源元素の種類と分布又は範囲の組合せを考慮することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。
- 「6.1.3.3.1 点推定法」における必要な計算数は、評価対象とする干す屋課金続投の大きさ及び中性子フルエンス率の差異、評価対象とする放射化金属等の部位の特徴などを考慮して決定することが分かるよう、規定を明確化することを要望する。
- 「6.1.3.3.2 区間推定法」における計算数の設定には元素成分条件が大きく影響することから、実施した放射化計算結果の数が、放射能濃度決定のための評価データとして十分かについては、起源元素の種類と分布又は範囲の組合せも考慮して放射化計算を行った数とその放射化計算結果とが示す統計値の安定性の推移を踏まえて判断することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

4. 5. 2 表面汚染の取扱い

理論計算法における表面汚染の取扱いについては「6.1.4 表面汚染の取扱い」に規定している。

(1) 規定の内容

6.1.4 表面汚染の取扱い

理論計算法の適用において、放射化金属等の表面に付着した放射性物質を十分に低減できるよう除染する場合は、表面の汚染を考慮する必要はない。また、除染しない場合は、放射化金属等の表面に付着した放射性物質の放射能濃度を評価し、必要に応じて理論計算法で決定した放射能濃度に加える。

(2) 検討の結果

- ① 「6.1.4 表面汚染の取扱い」には、「除染しない場合は、放射化金属等の表面に付着した放射性物質の放射能濃度を評価し、必要に応じて理論計算法で決定した放射能濃度に加える。」とされている。除染しない場合に、放射化金属等の表面に付着した放射性物質の放射能濃度の評価結果を加える必要がない条件について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁶³。

クラッドの影響がないと判断できる基準については、金属母材とクラッドの物性値の違い(溶出率や分配係数など)による埋設施設の移行シナリオへの影響等を

⁶³ 第4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4-1「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」回答2(1)

踏まえて定める必要があるため、現時点では提示できません。今後、事業者が中深度処分施設の設計及び評価を進める中で、表面汚染による放射性物質の影響を把握した上で、具体的な条件（判断基準）が定められるものと考えます。

なお、標準では、「必要に応じて理論計算法で決定した放射能濃度に加える。」と規定していますので、技術評価では表面汚染を理論計算法で決定した放射能濃度に加えることとすることについて問題はありません。

表面汚染による影響を加えて評価する方法としては、主に以下の方法が考えられますが、具体的な方法については現時点では回答できません。

- ① 放射化と表面汚染の放射能の比率を予め設定し、理論計算で決定した放射化放射能に、この比率を掛けて求めた表面汚染放射能を加える方法
- ② 事前の表面汚染分析、または、理論計算により表面汚染の放射能濃度を評価し、理論計算で決定した放射化放射能に加える方法

また、「放射化金属等の表面に付着した放射性物質を十分に低減できるよう除染する」と記載されているが、「十分に低減できる」ことの判断基準について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁶⁴。

上述のとおり、今後、事業者が中深度処分施設の設計及び評価を進める中で、具体的な条件（判断基準）が定められ、その後の事業者による個別審査もしくは標準改定後に受ける技術評価の中で確認を受けるものと考えます。

標準の「放射化金属等の表面に付着した放射性物質を十分に低減できるよう除染する場合は、表面の汚染を考慮する必要はない」について、今回の技術評価では「除染後に残存する放射能に応じて放射能濃度に加える」と読み替えることに異存ありません。

表面汚染の取扱いについては、基本的な考え方が規定されているのみであり、具体的な方法については現時点では回答できないとのことである。また、理論計算法としての具体的な評価方法は示されていない。仕様規定としては不十分であることから、技術評価対象外とする。

4. 5. 3 理論的方法の妥当性確認

放射化計算の妥当性確認については「6.3.1.1 妥当性確認の方法」及び「6.3.1.2 不確かさの扱い」に規定している。

(1) 規定の内容

6.3.1 理論的方法の妥当性確認

⁶⁴ 第4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 4-1「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」回答 2(2)

6.3.1.1 妥当性確認の方法

妥当性確認は、理論計算法の放射化計算方法及び計算手順が期待される結果を与えることを（客観的、文書化された証拠によって）明示し、計算が恒常的に、正確に実施できることを確認する。

妥当性確認は、適用する計算方法の結果に関する正確さ及び適用性を確認することであり、近似性の正確さ及び適正さ、相関性の適用性などで評価できる。

注記1 妥当性確認は、放射化計算方法を周知のテストケース、既に妥当性確認された計算方法などと比較することなどで行うことができる。また、放射化計算方法に関する妥当性確認は、AESJ-SC-A008:2015 を参照する。

注記2 詳細は、附属書 A 参照。

6.3.1.2 不確かさの扱い

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

注記1 “正確さ”は、理論計算結果が真値にどれだけ近いかを示す。偏り及び保守性の程度は、放射能濃度の許容限度（廃棄体の受入基準、放射線防護、輸送などの限度）から決まる。また、“正確さ”は決定した放射能濃度の偏りを示し、“代表性”は正確さ及び精度を反映したパラメータで考慮することができる。

注記2 詳細は、附属書 L 参照。

(2) 検討の結果

- ① 第2段落において、「妥当性確認は、適用する計算方法の結果に関する正確さ及び適用性を確認することであり、近似性の正確さ及び適正さ、相関性の適用性などで評価できる。」と規定されている。入力条件が記載通りに設定されているか確認するためには、主要な核種についての放射化学分析等による実測値との比較が必要である。また、「相関性の適用性」は意味が不明確であり、相関係数の安定性などで評価することは可能である。妥当性確認は、主要な核種についての放射化学分析等による実測値との比較を行い、適用する計算方法の入力条件と結果に関する正確さ及び適用性を確認することであり、近似性の正確さ及び適正さ、相関係数の安定性などで評価することができるということが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

注記1の「妥当性確認は、放射化計算方法を周知のテストケース、既に妥当性確認された計算方法などと比較することなどで行うことができる。」は上記の妥当性確認の例としては適切でないことから、削除することを要望する。

- ② 「6.3.1.2 不確かさの扱い」において、「理論計算法の結果の代表性を定量化するために、計算の正確さ及び不確かさを評価する。」と規定されているが、正確さ及び不確かさは入力条件と結果との比較であることから、理論計算法の結果の代表性を定量化するために、点推定法又は区間推定法で設定した入力条件を踏まえて、計算の正確さ及び不確かさを評価することが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。

また、注記1に記載する「偏り及び保守性の程度」が本文に記載がないことについて

て、日本原子力学会は、次のように説明している⁶⁵。

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

注記の「偏り及び保守性の程度」は、意味が不明確である。

したがって、濃度比法と濃度分布評価法における計算の正確さ及び不確かさを評価
する方法を示すこと、注記 1 の記載は削り、区間推定法のうち濃度比法における濃度比
(係数)にあつては、難測定核種と Key 核種の放射能濃度のばらつきを踏まえ、係数の統
計的変動範囲を考慮すること、区間推定法のうち濃度分布評価法による放射能濃度は、
評価結果の最小値、最大値を含む分布の形状を考慮することが分かるよう、規定を明確
にすることを要望する。

(3) 要望事項

- 妥当性確認は、主要な核種についての放射化学分析等による実測値との比較を行
い、適用する計算方法の入力条件と結果に関する正確さ及び適用性を確認するこ
とであり、近似性の正確さ及び適正さ、相関係数の安定性などで評価することが
できるということが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。
- 「6.3.1.1 妥当性確認の方法」の注記 1 は妥当性確認の例としては適切でないこ
とから、削除することを要望する。
- 「6.3.1.2 不確かさの扱い」は、正確さ及び不確かさは入力条件と結果との比較
であることから、理論計算法の結果の代表性を定量化するために、点推定法又は
区間推定法で設定した入力条件を踏まえて、計算の正確さ及び不確かさを評価す
ることが分かるよう、規定を明確にすることを要望する。
- 濃度比法と濃度分布評価法における計算の正確さ及び不確かさを評価する方法を
示すことを要望する。
- 「6.3.1.2 不確かさの扱い」の注記 1 の記載は削除することを要望する。
- 区間推定法のうち濃度比法における濃度比(係数)にあつては、難測定核種と Key
核種の放射能濃度のばらつきを踏まえ、係数の統計的変動範囲を考慮すること、
区間推定法のうち濃度分布評価法による放射能濃度は、評価結果の最小値、最大
値を含む分布の形状を考慮することが分かるよう、規定を明確にすることを要望
する。

⁶⁵ 第 4 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 4-2-2 「実証的方法の具体及び評価結果の不確かさ」回答 3

4. 5. 4 数値の丸め方

理論計算における数値の丸め方については「6.4 数値の丸め方」に規定している。

(1) 規定の内容

6.4 数値の丸め方

計算結果の整理、数値の丸め方は、JIS Z 8401:1999 に従う。ただし、放射能濃度評価結果の有効数字を丸めるときは、大きめにとってもよい。

(2) 検討の結果

- ① 「6.4 数値の丸め方」において、数値の丸め方は「JIS Z 8401:1999 数値の丸め方」に従うと規定されている。JIS には数値の丸め方が複数規定されている。放射能濃度決定標準で採用する数値の丸め方について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁶⁶。

「放射能濃度」及び「濃度比などの係数」は、これまでの廃棄体確認申請などを踏まえると、有効数字として2桁としているため、標準6.4に示している丸め方に従いますと、次のような具体例（「JIS Z 8401:2019 数値の丸め方」の「2. 数値の丸め方」に例示されている丸めの幅：0.1の適用、JISの例：12.223→12.3）となります。

	放射能濃度	濃度比などの係数
申請値の例	1.0×10^{10} Bq/t	1.0×10^0
丸め方	小数点2桁目を切り上げ	小数点2桁目を切り上げ

なお、放射性廃棄物に関する過去の申請などに使用されています数値の表示例（丸め方の参考）を下表に示します。

申請書など	項目	値の表記
廃棄物埋設事業変更許可申請書	最大放射能濃度	1.0×10^{10} Bq/t
廃棄物確認に関する運用要領	スケーリングファクタ	1.0×10^{-10}

また、この数字の丸め方は、最終段階での放射能濃度、評価係数の決定時に適用するもので、評価途中の計算結果、設定値などに関しては、適用せずに使用しております。

なお、「表 G.6—起源元素の推定存在濃度レベル例（オーダー）」に示しております推定存在濃度レベルに関しましては、主成分以外の元素は、ここではオーダーとして1及び5に区分して元素濃度を設定したものです。

この数字の丸め方の考え方は、JIS Z 8401の規則B中でも、「丸めの幅を 5×10^k （kは整数）とした二捨三入・七捨八入も特定の分野で用いられている」との例示

⁶⁶ 第4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4-1「その他」回答1

があります。(ただし、標準では指数表示のため0ではなく1としています)

また、具体的な「二捨三入・七捨八入」は、分析データ及び文献データにおいて、まず、平均濃度が得られている値に対して行い、次に検出下限値だけの場合は、その検出下限値に対して行っているものです。

なお、表 G.6 に示しています「成分管理目標値」は、参考までに示しているもので、「二捨三入・七捨八入」の対象ではありません。

補足：数字の丸め方の適用内容

- ・ 推定濃度レベルの設定においては、1桁レベルに区切るのは、設定間隔が大きいため、「二捨三入・七捨八入」として、各桁(1~10)の中央でも区切る方法を適用し、 1×10^x 、 5×10^x の間隔で設定したものです。

なお、標準に示しています数字の丸め方は、

- ・ JIS Z 8401 の B の方法は、放射化計算によって得られた最終評価値(放射能濃度、濃度比など)の数字の丸め方に関して、JIS Z 8401 に準拠して数字を丸める方法を示したもので、評価の途中の段階(スクリーニング段階の設定値など)の数値の設定方法を規定しているものではありません。

数値の丸め方については、正解というものはなく適切に処理されておればよいことから、技術評価の対象外とする。

4. 5. 5 放射能濃度評価の裕度

理論計算における放射能濃度評価の裕度については「6.5 放射能濃度の評価における裕度」に規定している。

(1) 規定の内容

6.5 放射能濃度の評価における裕度

理論的方法又は実証的方法による放射能濃度決定方法によって放射能濃度を評価する場合、最大放射能濃度を超えないことを確認するため、適切な裕度を考慮する。

注記 詳細は、附属書 M 参照。

(2) 検討の結果

- ① 「6.5 放射能濃度の評価における裕度」において、「理論的方法又は実証的方法による放射能濃度決定方法によって放射能濃度を評価する場合、最大放射能濃度を超えないことを確認するため、適切な裕度を考慮する。」としている。実証的方法は、「4. 2. 1 放射能濃度決定方法の種類」の(2)①において技術評価の対象外としている。末尾の「適切な裕度を考慮する」は「6.3.1.2 不確かさの扱い」で評価した不確かさを考慮して適切な裕度を設定することが分かるよう、「適切」とは何かを含め規定を明確にすることを要望する。

(3) 要望事項

- 「適切な裕度を考慮する」は 6.3.1.2 で評価した不確かさを考慮して適切な裕度を設定することが分かるよう、「適切」とは何かを含め規定を明確にすることを要望する。

4. 6 記録

記録については、「7.1 理論的方法の記録」に規定している。

(1) 規定の内容

7.1 理論的方法の記録

記録は、評価対象とした放射化金属等、計算に使用した放射化計算方法、トレース可能な計算用入力条件及び計算の設定条件が明確にされた計算書が示されなければならない。また、確認のために、第三者が容易に把握できるようにする。

記録は、簡単で、容易に把握でき、追加操作を行わずに理解できるようにする。報告の単位は、記録中に明示し、かつ、特段の指示がなければ、国際単位系で記録する。

注記 理論計算法の記録の詳細は、附属書 N 参照。

(2) 検討の結果

原子力施設の記録については、「原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則」が適用される。「7.1 理論的方法の記録」においては計算書（「評価対象とした放射化金属等」、「計算に使用した放射化計算方法」、「トレース可能な計算用入力条件」及び「計算の設定条件」が明確にされたもの）が記録であるとしているが同規則で求める記録はそれだけではない。なお、注記で「理論計算法の記録の詳細は、附属書 N 参照」としているが、附属書 N は記録の例であり、本文の規定内容と整合がとれていない。したがって、「7.1 理論的方法の記録」は技術評価の対象外とする。

5. 日本原子力学会規格の策定に関する要望事項

放射能濃度決定標準の各規定についての要望事項は評価項目ごとに記載しているので、ここでは技術評価を通じて気づいた規格の策定に関する要望事項を述べる。

- (1) 放射能濃度決定標準は、最大放射能濃度の算出方法に関する規定と総放射能量の算出方法に関する規定が混在した記載になっており、それぞれをどのように算出するのか明確にされていない。また、規定において「適切な」、「代表的な」等が多用されており、利用者によって自由な解釈が可能な記載となっている。放射能濃度の最大値を求める場合と総放射能量を求める場合を区分して具体を規定することを要望する。
- (2) 放射能濃度決定標準は本文と附属書（参考）で構成されており、本文で附属書を参照しているが、附属書は過去に評価した一例を示すものであり、附属書の記載内容が必ずしも本文と整合しているものではなく異なる規定や重複している部分も多い。本文を正として附属書の記載内容を見直すことを要望する。
- (3) 換算係数法、濃度比法及び濃度分布評価法の計算例は同じデータ（元素成分、中性子、照射履歴）を用いたものとし、評価結果が比較可能なものであることを要望する。

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

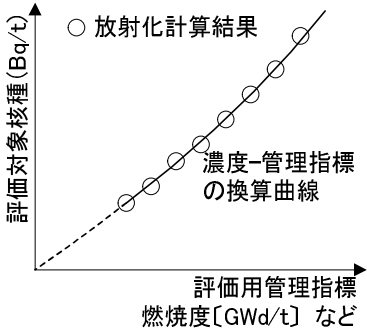
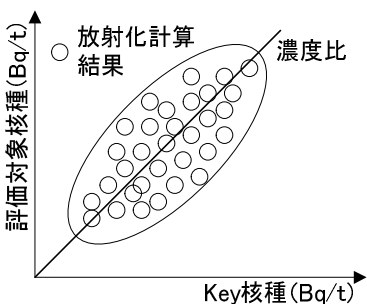
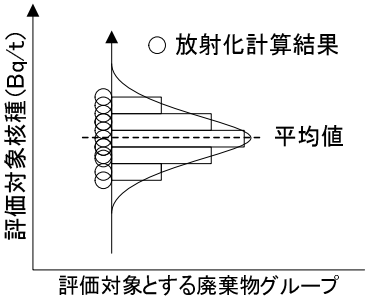
方法	換算係数法	濃度比法	濃度分布評価法
<p>評価のイメージ</p>			
<p>基本的な特徴</p>	<p>管理指標 [燃焼度 (通常, 燃料は燃焼度で管理される)] と放射化金属等中に生成する核種の放射能濃度とには, 密接な関係がある。 放射化金属等の内部に含まれる難測定核種の放射能濃度は, 実際の原子炉の条件範囲 (例えば, 元素組成, 中性子フルエンス率, 照射条件) を考慮した放射化計算によって得られる換算係数と管理指標 (燃焼度など) とを乗じることで, 計算できる。</p>	<p>原子炉構成材の同じ部位が放射化した際に生成する核種間には, 全ての放射化条件が同じため, 特別な関係がある。 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。</p>	<p>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。</p>
<p>代表的な評価対象とする放射化金属等</p>	<p>チャンネルボックス, 制御棒, バーナブルポイズンなど。</p>	<p>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。</p>	<p>黒鉛, シュラウド, 圧力容器など。</p>
<p>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。</p>			

表 I.17—ZrTn804D の元素成分条件の放射化計算用データの設定結果

添付資料— 2

単位:質量分率%

計算 No.	N	O	S	Cl	K	Fe	Co	Ni	Cu	Zr	Nb	Mo	Th	U
1	5.94 ×10 ⁻³	1.57 ×10 ⁻¹	8.45 ×10 ⁻³	2.33 ×10 ⁻⁴	2.63 ×10 ⁻³	2.15 ×10 ⁻¹	3.40 ×10 ⁻⁴	5.38 ×10 ⁻³	2.46 ×10 ⁻³	9.83 ×10 ¹	2.19 ×10 ⁻³	9.48 ×10 ⁻⁴	3.24 ×10 ⁻⁶	2.94 ×10 ⁻³
2	6.40 ×10 ⁻³	2.16 ×10 ⁻¹	2.06 ×10 ⁻³	1.60 ×10 ⁻⁴	2.89 ×10 ⁻³	1.82 ×10 ⁻¹	3.93 ×10 ⁻⁴	4.89 ×10 ⁻³	1.50 ×10 ⁻³	9.99 ×10 ¹	1.15 ×10 ⁻³	4.86 ×10 ⁻⁴	2.44 ×10 ⁻⁶	2.92 ×10 ⁻⁴
3	2.44 ×10 ⁻³	1.10 ×10 ⁻¹	4.07 ×10 ⁻³	1.44 ×10 ⁻⁴	4.39 ×10 ⁻³	1.80 ×10 ⁻¹	3.00 ×10 ⁻⁴	4.41 ×10 ⁻³	1.68 ×10 ⁻³	9.87 ×10 ¹	1.08 ×10 ⁻³	5.00 ×10 ⁻⁴	4.85 ×10 ⁻⁶	9.33 ×10 ⁻⁴
4	4.91 ×10 ⁻³	1.79 ×10 ⁻¹	4.98 ×10 ⁻³	1.73 ×10 ⁻⁴	3.32 ×10 ⁻³	2.03 ×10 ⁻¹	4.51 ×10 ⁻⁴	5.51 ×10 ⁻³	3.30 ×10 ⁻³	9.80 ×10 ¹	2.28 ×10 ⁻³	2.68 ×10 ⁻⁴	8.22 ×10 ⁻⁶	4.90 ×10 ⁻⁴
5	3.74 ×10 ⁻³	1.42 ×10 ⁻¹	4.73 ×10 ⁻⁴	1.67 ×10 ⁻⁴	2.84 ×10 ⁻³	1.95 ×10 ⁻¹	1.83 ×10 ⁻⁴	5.02 ×10 ⁻³	1.53 ×10 ⁻³	9.98 ×10 ¹	2.69 ×10 ⁻³	3.37 ×10 ⁻⁴	6.25 ×10 ⁻⁶	3.62 ×10 ⁻⁴
6	3.24 ×10 ⁻³	1.63 ×10 ⁻¹	1.17 ×10 ⁻³	1.56 ×10 ⁻⁴	4.79 ×10 ⁻³	1.87 ×10 ⁻¹	3.11 ×10 ⁻⁴	3.81 ×10 ⁻³	2.58 ×10 ⁻³	9.90 ×10 ¹	2.40 ×10 ⁻³	4.80 ×10 ⁻⁴	3.39 ×10 ⁻⁶	6.52 ×10 ⁻⁴
7	4.24 ×10 ⁻³	1.77 ×10 ⁻¹	3.42 ×10 ⁻³	1.42 ×10 ⁻⁴	7.03 ×10 ⁻³	2.39 ×10 ⁻¹	3.00 ×10 ⁻⁴	5.37 ×10 ⁻³	2.41 ×10 ⁻³	9.97 ×10 ¹	9.98 ×10 ⁻⁴	8.39 ×10 ⁻⁴	2.88 ×10 ⁻⁶	1.26 ×10 ⁻³
8	1.90 ×10 ⁻³	1.59 ×10 ⁻¹	6.44 ×10 ⁻⁴	2.13 ×10 ⁻⁴	4.44 ×10 ⁻³	1.82 ×10 ⁻¹	2.21 ×10 ⁻⁴	5.26 ×10 ⁻³	1.86 ×10 ⁻³	9.81 ×10 ¹	1.64 ×10 ⁻³	4.98 ×10 ⁻⁴	5.27 ×10 ⁻⁶	1.81 ×10 ⁻⁴
9	3.81 ×10 ⁻³	1.29 ×10 ⁻¹	1.00 ×10 ⁻³	1.32 ×10 ⁻⁴	6.82 ×10 ⁻³	2.27 ×10 ⁻¹	4.12 ×10 ⁻⁴	3.79 ×10 ⁻³	3.14 ×10 ⁻³	9.80 ×10 ¹	1.38 ×10 ⁻³	6.81 ×10 ⁻⁴	2.99 ×10 ⁻⁶	3.30 ×10 ⁻³
10	4.06 ×10 ⁻³	2.06 ×10 ⁻¹	3.44 ×10 ⁻³	6.15 ×10 ⁻⁵	8.43 ×10 ⁻³	2.08 ×10 ⁻¹	6.12 ×10 ⁻⁴	4.13 ×10 ⁻³	1.27 ×10 ⁻³	9.81 ×10 ¹	2.40 ×10 ⁻³	7.35 ×10 ⁻⁴	4.39 ×10 ⁻⁶	4.84 ×10 ⁻⁵
11	3.01 ×10 ⁻³	1.49 ×10 ⁻¹	8.61 ×10 ⁻⁴	1.71 ×10 ⁻⁴	2.99 ×10 ⁻³	2.21 ×10 ⁻¹	2.94 ×10 ⁻⁴	4.81 ×10 ⁻³	2.01 ×10 ⁻³	9.97 ×10 ¹	3.41 ×10 ⁻³	2.47 ×10 ⁻⁴	1.69 ×10 ⁻⁶	1.30 ×10 ⁻⁴
12	4.13 ×10 ⁻³	1.26 ×10 ⁻¹	6.01 ×10 ⁻⁵	3.43 ×10 ⁻⁴	2.22 ×10 ⁻³	2.00 ×10 ⁻¹	3.72 ×10 ⁻⁴	4.57 ×10 ⁻³	2.31 ×10 ⁻³	9.97 ×10 ¹	8.99 ×10 ⁻⁴	9.16 ×10 ⁻⁴	4.78 ×10 ⁻⁶	9.73 ×10 ⁻⁵
13	6.34 ×10 ⁻³	1.73 ×10 ⁻¹	1.14 ×10 ⁻²	1.58 ×10 ⁻⁴	4.85 ×10 ⁻³	2.34 ×10 ⁻¹	2.35 ×10 ⁻⁴	5.25 ×10 ⁻³	1.43 ×10 ⁻³	9.82 ×10 ¹	2.29 ×10 ⁻³	3.95 ×10 ⁻⁴	3.51 ×10 ⁻⁶	1.29 ×10 ⁻⁴
14	2.33 ×10 ⁻³	1.37 ×10 ⁻¹	1.19 ×10 ⁻³	1.91 ×10 ⁻⁴	1.95 ×10 ⁻³	2.11 ×10 ⁻¹	4.85 ×10 ⁻⁴	4.00 ×10 ⁻³	1.60 ×10 ⁻³	1.00 ×10 ²	2.03 ×10 ⁻³	4.05 ×10 ⁻⁴	4.32 ×10 ⁻⁶	1.11 ×10 ⁻⁴
15	3.03 ×10 ⁻³	1.56 ×10 ⁻¹	3.30 ×10 ⁻³	1.84 ×10 ⁻⁴	5.55 ×10 ⁻³	2.16 ×10 ⁻¹	1.09 ×10 ⁻³	4.59 ×10 ⁻³	7.40 ×10 ⁻⁴	9.94 ×10 ¹	1.26 ×10 ⁻³	2.32 ×10 ⁻⁴	5.00 ×10 ⁻⁶	6.68 ×10 ⁻⁵
16	6.47 ×10 ⁻³	1.75 ×10 ⁻¹	1.39 ×10 ⁻³	1.80 ×10 ⁻⁴	4.81 ×10 ⁻³	2.34 ×10 ⁻¹	1.50 ×10 ⁻⁴	5.32 ×10 ⁻³	2.05 ×10 ⁻³	9.91 ×10 ¹	2.85 ×10 ⁻³	1.92 ×10 ⁻⁴	2.85 ×10 ⁻⁶	3.61 ×10 ⁻⁴
17	8.02 ×10 ⁻³	1.35 ×10 ⁻¹	6.30 ×10 ⁻⁴	4.59 ×10 ⁻⁴	8.71 ×10 ⁻³	2.20 ×10 ⁻¹	4.79 ×10 ⁻⁴	5.68 ×10 ⁻³	1.33 ×10 ⁻³	9.83 ×10 ¹	3.94 ×10 ⁻³	9.02 ×10 ⁻⁴	9.48 ×10 ⁻⁶	6.28 ×10 ⁻⁴
18	1.83 ×10 ⁻³	1.32 ×10 ⁻¹	3.28 ×10 ⁻³	1.22 ×10 ⁻⁴	2.39 ×10 ⁻³	2.28 ×10 ⁻¹	2.73 ×10 ⁻⁴	4.76 ×10 ⁻³	1.58 ×10 ⁻³	9.88 ×10 ¹	1.84 ×10 ⁻³	1.87 ×10 ⁻⁴	4.44 ×10 ⁻⁶	3.12 ×10 ⁻⁴
19	3.07 ×10 ⁻³	1.02 ×10 ⁻¹	1.52 ×10 ⁻³	1.79 ×10 ⁻⁴	4.46 ×10 ⁻³	2.01 ×10 ⁻¹	3.86 ×10 ⁻⁴	3.99 ×10 ⁻³	2.21 ×10 ⁻³	9.96 ×10 ¹	2.87 ×10 ⁻³	5.73 ×10 ⁻⁴	5.89 ×10 ⁻⁶	4.00 ×10 ⁻⁴
20	3.39 ×10 ⁻³	1.20 ×10 ⁻¹	2.16 ×10 ⁻³	1.44 ×10 ⁻⁴	4.18 ×10 ⁻³	2.10 ×10 ⁻¹	3.80 ×10 ⁻⁴	4.33 ×10 ⁻³	1.18 ×10 ⁻³	9.95 ×10 ¹	2.05 ×10 ⁻³	1.85 ×10 ⁻⁴	2.54 ×10 ⁻⁶	7.64 ×10 ⁻⁴
21	5.77 ×10 ⁻³	2.40 ×10 ⁻¹	6.04 ×10 ⁻³	1.19 ×10 ⁻⁴	5.60 ×10 ⁻³	2.03 ×10 ⁻¹	3.09 ×10 ⁻⁴	5.21 ×10 ⁻³	1.47 ×10 ⁻³	9.91 ×10 ¹	2.31 ×10 ⁻³	8.57 ×10 ⁻⁴	4.22 ×10 ⁻⁶	1.56 ×10 ⁻³
22	1.92 ×10 ⁻³	2.07 ×10 ⁻¹	2.94 ×10 ⁻³	1.61 ×10 ⁻⁴	2.67 ×10 ⁻³	1.96 ×10 ⁻¹	6.34 ×10 ⁻⁴	4.40 ×10 ⁻³	1.89 ×10 ⁻³	9.91 ×10 ¹	1.44 ×10 ⁻³	1.86 ×10 ⁻⁴	4.51 ×10 ⁻⁶	4.53 ×10 ⁻⁴
23	9.06 ×10 ⁻³	1.27 ×10 ⁻¹	2.74 ×10 ⁻³	2.20 ×10 ⁻⁴	1.10 ×10 ⁻⁴	2.39 ×10 ⁻¹	3.90 ×10 ⁻⁴	5.39 ×10 ⁻³	3.04 ×10 ⁻³	9.84 ×10 ¹	1.91 ×10 ⁻³	4.97 ×10 ⁻⁴	2.96 ×10 ⁻⁶	1.51 ×10 ⁻⁴
24	6.65 ×10 ⁻³	9.29 ×10 ⁻²	3.84 ×10 ⁻³	2.42 ×10 ⁻⁴	2.61 ×10 ⁻³	2.09 ×10 ⁻¹	5.82 ×10 ⁻⁴	5.70 ×10 ⁻³	9.90 ×10 ⁻⁴	9.83 ×10 ¹	1.38 ×10 ⁻³	5.02 ×10 ⁻⁴	2.65 ×10 ⁻⁶	6.82 ×10 ⁻⁴
25	1.67 ×10 ⁻³	1.46 ×10 ⁻¹	1.72 ×10 ⁻³	3.52 ×10 ⁻⁴	1.64 ×10 ⁻³	2.29 ×10 ⁻¹	2.37 ×10 ⁻⁴	4.65 ×10 ⁻³	3.05 ×10 ⁻³	9.91 ×10 ¹	3.15 ×10 ⁻³	3.60 ×10 ⁻⁴	2.12 ×10 ⁻⁶	2.74 ×10 ⁻⁴
26	3.21 ×10 ⁻³	1.26 ×10 ⁻¹	2.36 ×10 ⁻³	1.01 ×10 ⁻⁴	3.04 ×10 ⁻³	2.38 ×10 ⁻¹	6.89 ×10 ⁻⁴	5.27 ×10 ⁻³	2.00 ×10 ⁻³	9.98 ×10 ¹	3.00 ×10 ⁻³	5.05 ×10 ⁻⁴	6.64 ×10 ⁻⁶	2.55 ×10 ⁻⁴
27	2.78 ×10 ⁻³	2.05 ×10 ⁻¹	1.77 ×10 ⁻³	4.19 ×10 ⁻⁴	3.35 ×10 ⁻³	2.07 ×10 ⁻¹	6.79 ×10 ⁻⁴	5.14 ×10 ⁻³	1.21 ×10 ⁻³	9.86 ×10 ¹	9.12 ×10 ⁻⁴	4.97 ×10 ⁻⁴	3.14 ×10 ⁻⁶	2.88 ×10 ⁻⁴
28	5.79 ×10 ⁻³	1.65 ×10 ⁻¹	9.42 ×10 ⁻³	2.72 ×10 ⁻⁴	2.34 ×10 ⁻³	1.85 ×10 ⁻¹	2.56 ×10 ⁻⁴	4.54 ×10 ⁻³	2.21 ×10 ⁻³	9.83 ×10 ¹	2.67 ×10 ⁻³	5.28 ×10 ⁻⁴	3.52 ×10 ⁻⁶	3.74 ×10 ⁻⁴
29	2.97 ×10 ⁻³	1.81 ×10 ⁻¹	2.62 ×10 ⁻³	2.40 ×10 ⁻⁴	3.61 ×10 ⁻³	2.38 ×10 ⁻¹	8.34 ×10 ⁻⁴	4.68 ×10 ⁻³	1.33 ×10 ⁻³	9.98 ×10 ¹	4.23 ×10 ⁻³	1.42 ×10 ⁻⁴	3.29 ×10 ⁻⁶	2.21 ×10 ⁻⁴
30	4.97 ×10 ⁻³	1.51 ×10 ⁻¹	1.12 ×10 ⁻²	1.39 ×10 ⁻⁴	3.63 ×10 ⁻³	2.11 ×10 ⁻¹	2.48 ×10 ⁻⁴	4.76 ×10 ⁻³	2.02 ×10 ⁻³	9.95 ×10 ¹	1.11 ×10 ⁻³	1.87 ×10 ⁻⁴	2.61 ×10 ⁻⁶	3.98 ×10 ⁻⁴
31	4.24 ×10 ⁻³	2.55 ×10 ⁻¹	4.65 ×10 ⁻³	1.76 ×10 ⁻⁴	2.61 ×10 ⁻³	1.80 ×10 ⁻¹	4.90 ×10 ⁻⁴	4.75 ×10 ⁻³	2.26 ×10 ⁻³	9.87 ×10 ¹	1.48 ×10 ⁻³	2.18 ×10 ⁻⁴	5.33 ×10 ⁻⁶	5.30 ×10 ⁻⁴
32	4.74 ×10 ⁻³	1.26 ×10 ⁻¹	9.06 ×10 ⁻³	1.62 ×10 ⁻⁴	6.17 ×10 ⁻³	2.05 ×10 ⁻¹	5.14 ×10 ⁻⁴	4.84 ×10 ⁻³	2.53 ×10 ⁻³	9.89 ×10 ¹	3.40 ×10 ⁻³	2.32 ×10 ⁻⁴	7.96 ×10 ⁻⁶	4.13 ×10 ⁻⁴
33	2.77 ×10 ⁻³	2.22 ×10 ⁻¹	2.63 ×10 ⁻²	1.96 ×10 ⁻⁴	4.09 ×10 ⁻³	1.92 ×10 ⁻¹	2.20 ×10 ⁻⁴	4.89 ×10 ⁻³	2.68 ×10 ⁻³	9.96 ×10 ¹	1.01 ×10 ⁻³	4.56 ×10 ⁻⁴	3.92 ×10 ⁻⁶	9.08 ×10 ⁻⁵
34	3.94 ×10 ⁻³	1.05 ×10 ⁻¹	9.79 ×10 ⁻⁴	3.20 ×10 ⁻⁴	1.11 ×10 ⁻⁴	1.81 ×10 ⁻¹	4.23 ×10 ⁻⁴	5.21 ×10 ⁻³	1.47 ×10 ⁻³	9.99 ×10 ¹	2.48 ×10 ⁻³	2.31 ×10 ⁻⁴	3.40 ×10 ⁻⁶	3.72 ×10 ⁻⁵
35	9.31 ×10 ⁻⁴	1.08 ×10 ⁻¹	7.94 ×10 ⁻⁴	1.86 ×10 ⁻⁴	5.15 ×10 ⁻³	2.06 ×10 ⁻¹	2.02 ×10 ⁻⁴	4.46 ×10 ⁻³	1.86 ×10 ⁻³	9.99 ×10 ¹	2.15 ×10 ⁻³	3.44 ×10 ⁻⁴	6.24 ×10 ⁻⁶	4.98 ×10 ⁻⁵
36	4.93 ×10 ⁻³	1.75 ×10 ⁻¹	5.07 ×10 ⁻³	2.01 ×10 ⁻⁴	3.11 ×10 ⁻³	2.06 ×10 ⁻¹	4.18 ×10 ⁻⁴	5.23 ×10 ⁻³	1.47 ×10 ⁻³	9.82 ×10 ¹	1.21 ×10 ⁻³	5.41 ×10 ⁻⁴	4.27 ×10 ⁻⁶	1.55 ×10 ⁻⁴
37	1.03 ×10 ⁻³	1.66 ×10 ⁻¹	1.31 ×10 ⁻¹	1.13 ×10 ⁻³	3.31 ×10 ⁻³	2.25 ×10 ⁻¹	7.13 ×10 ⁻⁴	4.18 ×10 ⁻³	1.46 ×10 ⁻³	9.87 ×10 ¹	9.91 ×10 ⁻⁴	2.74 ×10 ⁻⁴	2.33 ×10 ⁻⁶	1.27 ×10 ⁻⁴
38	2.17 ×10 ⁻³	1.50 ×10 ⁻¹	2.44 ×10 ⁻³	1.57 ×10 ⁻⁴	4.12 ×10 ⁻³	2.33 ×10 ⁻¹	4.35 ×10 ⁻⁴	5.37 ×10 ⁻³	1.52 ×10 ⁻³	9.91 ×10 ¹	2.59 ×10 ⁻³	1.72 ×10 ⁻⁴	3.08 ×10 ⁻⁶	3.47 ×10 ⁻⁴
39	5.81 ×10 ⁻³	1.34 ×10 ⁻¹	1.58 ×10 ⁻²	9.33 ×10 ⁻⁵	4.83 ×10 ⁻³	2.11 ×10 ⁻¹	4.50 ×10 ⁻⁴	4.77 ×10 ⁻³	2.13 ×10 ⁻³	9.89 ×10 ¹	2.01 ×10 ⁻³	6.65 ×10 ⁻⁴	3.45 ×10 ⁻⁶	1.92 ×10 ⁻⁴
40	3.61 ×10 ⁻³	1.32 ×10 ⁻¹	3.75 ×10 ⁻³	1.64 ×10 ⁻⁴	4.18 ×10 ⁻³	1.93 ×10 ⁻¹	2.74 ×10 ⁻⁴	4.93 ×10 ⁻³	1.15 ×10 ⁻³	9.99 ×10 ¹	2.92 ×10 ⁻³	3.14 ×10 ⁻⁴	2.58 ×10 ⁻⁶	1.27 ×10 ⁻⁴

表 I.19—SUS304 の元素成分条件の放射化計算用データの設定結果

添付資料—3

単位:質量分率%

計算 No.	N	S	Cl	K	Fe	Co	Ni	Cu	Zr	Nb	Mo	Th	U
1	4.07×10^{-2}	4.86×10^{-3}	6.79×10^{-4}	4.51×10^{-3}	7.17×10^{-1}	2.90×10^{-2}	9.27×10^0	4.66×10^{-2}	2.07×10^{-3}	3.78×10^{-2}	4.34×10^{-2}	3.05×10^{-7}	1.15×10^{-7}
2	5.66×10^{-2}	4.50×10^{-4}	1.25×10^{-3}	8.07×10^{-3}	6.87×10^{-1}	4.16×10^{-3}	8.77×10^0	1.77×10^{-4}	1.68×10^{-3}	9.06×10^{-3}	2.22×10^{-1}	2.58×10^{-7}	1.96×10^{-7}
3	5.22×10^{-2}	2.42×10^{-3}	1.89×10^{-3}	2.98×10^{-3}	7.54×10^{-1}	2.68×10^{-2}	9.07×10^0	1.67×10^{-1}	5.78×10^{-3}	1.45×10^{-2}	2.00×10^0	4.62×10^{-7}	2.39×10^{-7}
4	4.02×10^{-2}	2.31×10^{-3}	7.69×10^{-4}	3.46×10^{-3}	7.36×10^{-1}	2.81×10^{-2}	9.73×10^0	1.67×10^{-3}	1.02×10^{-4}	4.31×10^{-3}	1.56×10^{-1}	1.04×10^{-7}	1.00×10^{-7}
5	7.23×10^{-2}	9.04×10^{-3}	5.61×10^{-4}	5.94×10^{-3}	7.01×10^{-1}	7.96×10^{-2}	8.21×10^0	6.84×10^{-3}	5.43×10^{-3}	1.54×10^{-1}	3.80×10^0	9.51×10^{-8}	1.70×10^{-7}
6	7.21×10^{-2}	2.20×10^{-3}	1.27×10^{-3}	1.01×10^{-4}	7.43×10^{-1}	1.68×10^{-2}	8.56×10^0	5.30×10^0	1.09×10^{-3}	1.43×10^{-3}	1.32×10^{-1}	2.18×10^{-7}	1.41×10^{-7}
7	3.86×10^{-2}	6.89×10^{-3}	1.03×10^{-3}	8.81×10^{-3}	6.98×10^{-1}	6.40×10^{-2}	8.69×10^0	9.42×10^{-3}	5.81×10^{-3}	2.48×10^{-2}	1.40×10^0	1.75×10^{-7}	1.55×10^{-7}
8	6.27×10^{-2}	1.34×10^{-2}	1.49×10^{-3}	5.53×10^{-3}	7.80×10^{-1}	5.83×10^{-2}	8.68×10^0	5.04×10^{-2}	6.17×10^{-4}	4.57×10^{-2}	9.42×10^{-2}	2.02×10^{-7}	2.17×10^{-7}
9	4.92×10^{-2}	1.79×10^{-2}	2.20×10^{-3}	4.03×10^{-3}	7.49×10^{-1}	2.02×10^{-1}	9.54×10^0	1.80×10^0	7.98×10^{-6}	7.43×10^{-2}	1.19×10^{-1}	1.71×10^{-7}	3.13×10^{-7}
10	5.16×10^{-2}	1.04×10^{-3}	5.69×10^{-4}	1.98×10^{-3}	7.35×10^{-1}	4.90×10^0	9.07×10^0	1.44×10^{-2}	3.85×10^{-6}	2.70×10^{-3}	7.74×10^{-2}	1.39×10^{-7}	2.63×10^{-7}
11	5.16×10^{-2}	7.52×10^{-3}	7.57×10^{-4}	4.72×10^{-3}	7.16×10^{-1}	1.48×10^{-2}	9.63×10^0	2.29×10^{-2}	1.91×10^{-4}	3.22×10^{-2}	9.16×10^{-1}	2.36×10^{-7}	1.79×10^{-7}
12	4.26×10^{-2}	2.37×10^{-3}	9.89×10^{-4}	7.52×10^{-3}	6.66×10^{-1}	2.13×10^{-3}	9.42×10^0	1.16×10^{-1}	1.64×10^{-3}	7.64×10^{-2}	2.60×10^{-2}	2.74×10^{-7}	1.88×10^{-7}
13	5.90×10^{-2}	1.22×10^{-3}	8.05×10^{-4}	2.18×10^{-3}	7.13×10^{-1}	6.82×10^{-1}	8.28×10^0	2.50×10^0	1.77×10^{-4}	8.22×10^{-2}	1.14×10^{-1}	1.08×10^{-7}	2.90×10^{-7}
14	4.06×10^{-2}	1.88×10^{-2}	1.07×10^{-3}	3.10×10^{-3}	7.25×10^{-1}	4.32×10^{-2}	9.49×10^0	1.40×10^0	1.81×10^{-4}	2.42×10^{-2}	6.75×10^{-1}	1.58×10^{-7}	3.86×10^{-7}
15	4.74×10^{-2}	3.27×10^{-3}	7.46×10^{-4}	5.60×10^{-3}	6.76×10^{-1}	9.71×10^{-2}	8.90×10^0	5.78×10^{-1}	9.93×10^{-3}	2.62×10^{-2}	7.05×10^{-1}	6.07×10^{-7}	1.42×10^{-7}
16	6.38×10^{-2}	3.59×10^{-3}	6.81×10^{-4}	2.94×10^{-3}	7.78×10^{-1}	1.00×10^{-1}	9.07×10^0	2.33×10^{-1}	2.39×10^{-4}	1.34×10^{-2}	3.55×10^{-1}	1.16×10^{-7}	3.65×10^{-7}
17	7.91×10^{-2}	2.29×10^{-2}	8.77×10^{-4}	4.06×10^{-3}	6.00×10^{-1}	6.70×10^{-2}	8.13×10^0	1.44×10^{-1}	2.60×10^{-4}	1.31×10^{-2}	6.85×10^{-2}	2.06×10^{-7}	1.77×10^{-7}
18	4.22×10^{-2}	4.84×10^{-3}	1.75×10^{-3}	4.92×10^{-3}	6.95×10^{-1}	2.50×10^0	8.66×10^0	6.40×10^{-2}	3.82×10^{-4}	2.61×10^{-2}	2.59×10^{-1}	8.97×10^{-8}	2.16×10^{-7}
19	4.85×10^{-2}	2.05×10^{-2}	1.07×10^{-3}	2.45×10^{-3}	6.96×10^{-1}	5.57×10^{-2}	9.00×10^0	1.98×10^{-2}	6.95×10^{-4}	7.13×10^{-2}	6.76×10^{-1}	4.06×10^{-7}	1.83×10^{-7}
20	3.60×10^{-2}	7.67×10^{-3}	1.59×10^{-3}	5.07×10^{-3}	7.22×10^{-1}	9.66×10^{-2}	1.01×10^1	1.43×10^{-1}	3.39×10^{-3}	3.43×10^{-2}	1.86×10^{-1}	1.00×10^{-7}	3.14×10^{-7}
21	5.52×10^{-2}	6.71×10^{-3}	1.76×10^{-3}	8.83×10^{-3}	6.90×10^{-1}	7.83×10^{-1}	1.02×10^1	2.84×10^{-2}	7.55×10^{-3}	5.66×10^{-3}	6.79×10^{-2}	8.38×10^{-8}	2.54×10^{-7}
22	4.69×10^{-2}	4.82×10^{-2}	1.31×10^{-3}	6.17×10^{-3}	7.11×10^{-1}	3.75×10^{-3}	9.54×10^0	4.19×10^{-1}	1.38×10^{-3}	2.29×10^{-2}	9.08×10^{-2}	1.19×10^{-7}	4.44×10^{-7}
23	6.28×10^{-2}	4.04×10^{-3}	6.92×10^{-4}	2.31×10^{-3}	7.32×10^{-1}	4.70×10^{-2}	9.94×10^0	7.69×10^{-2}	2.92×10^{-3}	3.40×10^{-2}	2.04×10^{-1}	3.03×10^{-7}	3.00×10^{-7}
24	3.95×10^{-2}	3.89×10^{-3}	7.06×10^{-4}	2.88×10^{-3}	6.88×10^{-1}	1.42×10^{-2}	8.89×10^0	7.14×10^{-2}	8.75×10^{-4}	2.16×10^{-2}	2.81×10^{-1}	3.57×10^{-7}	3.28×10^{-7}
25	4.58×10^{-2}	5.66×10^{-3}	6.08×10^{-4}	5.38×10^{-3}	7.37×10^{-1}	1.12×10^{-1}	9.01×10^0	6.55×10^{-3}	7.52×10^{-3}	4.17×10^{-3}	3.73×10^{-1}	1.09×10^{-7}	2.62×10^{-7}
26	4.98×10^{-2}	9.62×10^{-3}	9.77×10^{-4}	3.19×10^{-3}	8.00×10^{-1}	8.93×10^{-1}	9.77×10^0	1.45×10^{-1}	1.01×10^{-4}	2.84×10^{-2}	2.05×10^{-1}	2.52×10^{-7}	2.07×10^{-7}
27	3.94×10^{-2}	3.82×10^{-3}	9.29×10^{-4}	3.36×10^{-3}	6.68×10^{-1}	6.52×10^{-2}	1.01×10^1	9.33×10^{-2}	3.24×10^{-4}	2.36×10^{-3}	7.85×10^{-2}	2.03×10^{-7}	1.82×10^{-7}
28	4.60×10^{-2}	1.00×10^{-2}	2.32×10^{-3}	7.48×10^{-3}	7.31×10^{-1}	6.17×10^{-2}	8.60×10^0	1.88×10^{-3}	6.22×10^{-3}	1.79×10^{-2}	1.38×10^{-1}	1.87×10^{-7}	2.04×10^{-7}
29	7.55×10^{-2}	4.11×10^{-3}	6.11×10^{-4}	3.02×10^{-3}	7.23×10^{-1}	2.00×10^0	9.93×10^0	1.46×10^{-2}	2.39×10^{-4}	1.20×10^{-2}	2.77×10^{-1}	1.39×10^{-7}	2.70×10^{-7}
30	3.87×10^{-2}	4.27×10^{-3}	2.18×10^{-3}	3.68×10^{-3}	7.56×10^{-1}	5.26×10^{-1}	8.89×10^0	9.29×10^{-2}	7.11×10^{-4}	2.96×10^{-2}	1.29×10^{-2}	1.61×10^{-7}	1.95×10^{-7}
31	2.94×10^{-2}	4.66×10^{-3}	9.38×10^{-4}	4.08×10^{-3}	6.87×10^{-1}	2.58×10^{-2}	9.34×10^0	1.63×10^{-1}	8.65×10^{-3}	1.60×10^{-2}	5.22×10^{-1}	3.48×10^{-7}	1.77×10^{-7}
32	4.00×10^{-2}	2.07×10^{-3}	4.88×10^{-4}	2.35×10^{-3}	7.33×10^{-1}	2.20×10^0	8.23×10^0	6.28×10^{-2}	3.13×10^{-3}	1.51×10^{-2}	2.16×10^{-2}	1.98×10^{-7}	2.31×10^{-7}
33	6.14×10^{-2}	1.16×10^{-2}	7.60×10^{-4}	8.75×10^{-3}	7.80×10^{-1}	8.83×10^{-2}	8.42×10^0	9.98×10^{-2}	2.82×10^{-3}	9.95×10^{-2}	2.50×10^0	1.30×10^{-7}	1.53×10^{-7}
34	6.49×10^{-2}	5.74×10^{-3}	4.24×10^{-4}	5.51×10^{-3}	6.84×10^{-1}	7.94×10^{-1}	1.03×10^1	2.82×10^{-2}	1.64×10^{-3}	5.46×10^{-2}	2.39×10^{-1}	1.36×10^{-7}	2.93×10^{-7}
35	5.06×10^{-2}	3.82×10^{-3}	3.66×10^{-4}	2.40×10^{-3}	7.09×10^{-1}	1.47×10^{-3}	9.06×10^0	9.98×10^{-1}	5.92×10^{-4}	2.24×10^{-2}	1.70×10^0	1.46×10^{-7}	3.81×10^{-7}
36	5.40×10^{-2}	2.28×10^{-2}	9.86×10^{-4}	7.87×10^{-3}	7.04×10^{-1}	6.55×10^{-1}	9.87×10^0	3.37×10^{-1}	5.64×10^{-3}	4.78×10^{-3}	1.97×10^{-2}	2.64×10^{-7}	2.88×10^{-7}
37	6.32×10^{-2}	3.63×10^{-3}	1.12×10^{-3}	3.48×10^{-3}	7.82×10^{-1}	4.19×10^{-1}	1.01×10^1	4.65×10^{-2}	8.05×10^{-4}	1.75×10^{-2}	1.57×10^{-1}	3.68×10^{-7}	2.52×10^{-7}
38	4.40×10^{-2}	5.30×10^{-3}	1.12×10^{-3}	1.94×10^{-3}	7.85×10^{-1}	1.30×10^0	1.04×10^1	1.16×10^{-2}	2.03×10^{-3}	3.07×10^{-3}	1.11×10^{-1}	2.00×10^{-7}	2.53×10^{-7}
39	5.53×10^{-2}	3.07×10^{-3}	8.87×10^{-4}	1.10×10^{-4}	7.11×10^{-1}	3.20×10^{-2}	9.71×10^0	4.07×10^{-2}	1.84×10^{-4}	4.48×10^{-2}	7.28×10^{-1}	2.47×10^{-7}	1.45×10^{-7}
40	3.95×10^{-2}	4.06×10^{-4}	8.87×10^{-4}	5.57×10^{-3}	7.46×10^{-1}	3.04×10^{-1}	9.25×10^0	6.08×10^{-3}	1.90×10^{-4}	4.07×10^{-3}	2.03×10^{-1}	1.89×10^{-7}	1.39×10^{-7}

別紙

I. 本文の技術評価対象外項目及び解説に関する気付き事項

- ① 放射能濃度決定標準の「序文」及び「1 適用範囲」において適用対象プラントを「原子力発電所」としている。日本原子力学会が対象とするのはBWR、PWR、GCRであり実用炉であることから、「原子力発電所」は「実用発電用原子炉及びその附属施設」と明確にすることが望まれる（「4. 1 評価対象核種」参照）。
- ② 「3 用語及び定義」において、「3.5 使用済樹脂等」には「液体状の放射性廃棄物又はイオン交換樹脂、フィルタスラッジその他の粉状若しくは粒状の放射性廃棄物。」と定義されているが、日本原子力学会は「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いないとのことであるので、「使用済樹脂等」の定義を明確にすることが望まれる（「4. 1 評価対象核種」参照）。
- ③ 「6.2.1 原廃棄物分析法の試料採取方法」には、a)として「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。」とされ、b)として廃棄物の均一性が確認できる場合とできない場合の「いずれかの方法で代表試料を採取する」と規定されている。a)とb)の関係について、日本原子力学会は、次のように説明している⁶⁷。

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

a)の「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の記載がないので、AESJ-SC-F022:2011の何を適用するのか明確でない。a)とb)の記載を見直すことが望まれる。

- ④ 「6.3.2 実証的方法の妥当性確認」において、「6.3.2.2 不確かさの扱い」は「結果の正確さを定量化するために」実証的方法の評価結果の不確かさを評価するとし、例として真度と精度で評価すると規定されている。その具体的事例について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁶⁸。

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

真度（分析結果の真の値からの偏りの程度）：

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

⁶⁷ 第4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4-2-2「実証的方法の具体及び評価結果の不確かさ」回答1(1)

⁶⁸ 第4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4-2-2「実証的方法の具体及び評価結果の不確かさ」回答4(2)

精度（分析結果間の一致の程度）：

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

評価結果の不確かさを評価する指標として真度と精度を用いるのであれば、それらを組み合わせた評価方法と判定基準を規定することが望まれる。

- ⑤ 濃度比法に関する「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。）」とある。

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。

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

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

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示すことにより「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」ことを説明できるので、そのような資料を追加することが望まれる。

- ⑥ 「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)」(「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。)は本文及び附属書のどこに対応するものかについて、日本原子力学会は次のように説明している⁷⁰。

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

I. 2. 2. 2 中性子条件の I. 2. 2. 2. 2 SUS304 (PWR 制御棒)

I. 2. 2. 3 中性子照射条件の I. 2. 2. 3. 2 SUS304 (PWR 制御棒)

I. 2. 3. 1 放射化計算用データの設定

⁶⁹ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 49

⁷⁰ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 50

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

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

本文及び附属書には、解説との関係が分かるように引用先を明示することが望まれる。

- ⑦ 濃度比法に関する「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 点としているが、データ数による分布形状の適切性について日本原子力学会は次のように説明している⁷¹。

附属書 I の「図 I. 12—相関係数の安定性の評価（放射化計算結果の数（評価データ数）及び相関係数の統計値の推移による評価）」及び「図 I. 13—濃度比の安定性の評価（放射化計算結果の数（評価データ数）及び濃度比の統計値の推移による評価）」並びに「附属書 K（参考）濃度分布評価法によって決定する場合の計算例」の「図 K. 5—放射能濃度評価値の安定性及び充足性の確認（原子炉停止直後）」に示しておりますように、データ数が約 30 点程度で統計値である平均値と信頼区間値が漸近し、一定の差にほぼ収束していることから、これ以上のデータを収集しても、統計値の信頼性向上は望めないことから、放射化計算結果から評価される放射能濃度データの分布は統計的に安定している領域に達していると判断して、ほぼ分布が確定されるデータ数として、標準に示した例では、40 点までの計算例で示しています。

なお、データ数量による統計値の推移（安定性）に関しましては、別紙「II. 附属書に関する気付き事項」の「9. 附属書 I（参考）濃度比を用いる場合の計算例②j）」の「<放射化計算の充足数として、40 点で良いのか>について」を参照ください。

統計的に安定すると判断するには、入力条件が適切であることが前提であるが、後述のように、附属書 I で使用された放射化金属の元素成分の設定結果は適切とはいえないことから、適切な設定結果に基づくデータ数により分布形状の適切性を見直すことが望まれる。

- ⑧ 濃度比法に関する「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。」とある。

これに対応する附属書 I の該当部分について、日本原子力学会は次のように説明し

⁷¹ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 51

ている⁷²。

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

元素成分条件のばらつき：I. 2. 2. 1. 2 元素成分条件の設定及び I. 2. 3. 1 放射化計算用データの設定

Key 核種とした⁶⁰Co の減衰：I. 2. 4. 2 適用性の判断

本文及び附属書には、解説との関係が分かるように引用先を明示することが望まれる。

- ⑨ 「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。」とある。相関係数 0. 6 以上の適切性について、日本原子力学会は次のように説明している⁷³。

相関性の判断においては、「附属書 I の I. 2. 4. 2 適用性の判断」に示しましたように、相関係数だけで判断しておらず、「相関関係に関して t 検定を実施して判断を行う」ようにしています。

なお、相関性の判断は t 検定で行いますが、目安として示しました 0. 6～0. 7 以上で相関性があると評価されている事例（参考資料を参照ください）があります。

<参考資料（相関係数関係）>

- ・ https://ocw.nagoya-u.jp/files/193/siryou_13.pdf（名古屋大学講義資料）
- ・ 佐藤，統計学のすすめ－決定と計画の科学（講談社）（データ数 10 点程度で相関係数 0. 6 程度）
- ・ <https://www.ai.u-hyogo.ac.jp/~arima/lectures/JT-13.pdf>（兵庫大学講義資料）

参考資料に示す名古屋大学講義資料においては、「相関係数の大きさの解釈（心理・教育など社会科学系での）」として、

±0. 4～±0. 6 中程度の相関 … 散布図を見て相関ありと思えるのはこの辺から

±0. 6～±0. 8 強い相関

とあるが、「相関係数に関する注意点」として「1つの相関係数の値が安定してくるのは、経験的に言って、被験者数が 150 程度以上」とも記載している。

また、t 検定を実施して判断を行うようにしているとのことであるが、「附属書 I. 2. 4. 2 適用性の判断」においては、「参考として（中略）相関関係を検定する統計手法（t 検定）を適用して難測定核種及び Key 核種の相関関係を確認している。」と記載

⁷² 第 4 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 4-2-2 「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」回答 52

⁷³ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 53

しているのみで、t検定を必須とはしていない。

相関係数を用いる場合のデータ点数及び統計的手法の規定については、さらに充実させることが望まれる。

⑩ 「解説 6.7.4 材料の製造工程の影響の確認」

a) 「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」において、「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。」とされている。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⁷⁴。

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

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

なお、上記の評価は、本書の別紙「II. 附属書に関する気付き事項」の「8. 附属書H（参考）検出困難元素の濃度分布評価方法」の「②「H.2 基本的な考え方」について」b)の回答を参照ください。

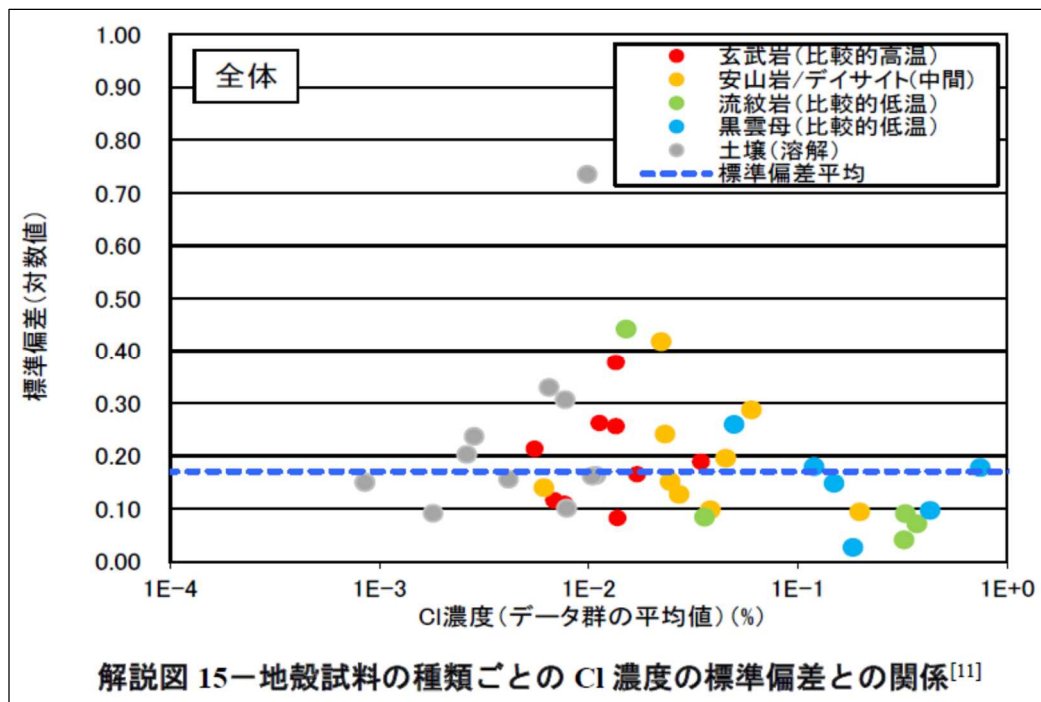
「8. 附属書H（参考）検出困難元素の濃度分布評価方法」の③「H.3 検出困難元素の濃度分布の評価例」についてa)においては、検出困難元素を「起源元素のうち、「Cl, Th 及び U」が検出困難元素としての適用対象元素であり、その他の元素は、検出できる可能性のある元素」と回答している。Mo は添加元素の一つであるが、検出困難元素として例示するのが適切か検討することが望まれる。

b) 「解説 6.7.4 材料の製造工程の影響の確認」において引用する「解説図 15—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

⁷⁴ 第4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 4-2-2 「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」 回答 55

び土壤は濃淡が類似した丸印であり、区別しにくい。同図について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁷⁵。

発行済みの標準の記号は変えられませんが、元々、標準の原紙では、色で識別している図になりますので、この図を示します。



「解説図 15—地殻試料の種類ごとの Cl 濃度の標準偏差との関係」は、凡例の記号を○表示だけでなく△や□等を組み合わせて識別容易な図にすることが望まれる。

⁷⁵ 第4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 4-2-2 「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」 回答 56

II. 附属書に関する気付き事項等

1. 附属書 A (参考) 理論計算法の適用方法及び手順

- ① 「A. 1.2 STEP1：計算のための基本の設定」において、「対象とする放射化金属等の特性（幾何形状、元素成分条件など）、原子炉の運転条件（中性子条件及び照射条件）などの放射化計算に必要なデータを事前に収集する」と記載されている。「図 A. 1—理論計算法の適用基本フロー」（別添 1 参照）の該当箇所には、「放射化金属等の幾何形状」に代わり「原子炉及び放射化物の特性」が記載されている。「原子炉及び放射化物の特性」に関してどのようなデータを収集するのか、日本原子力学会は次のように説明している⁷⁶。

「A. 1.2 STEP1：計算のための基本の設定」では、放射化金属等の特性（幾何形状、元素成分条件など）、原子炉の運転条件（中性子条件及び照射条件）を事前に収集します。

放射化物の放射能濃度の評価のためには、まず、基礎となる評価対象である「原子炉の特性（炉型、燃料）及び放射化物の特性（材質、幾何形状）」を踏まえて、放射化計算に必要な入力データの収集が必要となることを示したものです。

したがって、「原子炉及び放射化物の特性」とは、評価の対象となります原子炉の特性（炉型、燃料）及び放射化物の特性（材質、幾何形状）を把握することを意味しています。

「A. 1.2 STEP1：計算のための基本の設定」の規定内容と「図 A. 1—理論計算法の適用基本フロー」の内容が整合するよう見直すことが望まれる。

- ② 「A. 1.5 STEP4：結果の提示」において、「適切な計算コードを選択し（中略）放射化計算を実施し、直接的に放射能濃度を算出するか、又は濃度比などの評価係数を計算する。」と記載されているが何をもちいて計算コードの適切性を確認するのか、また、「図 A. 1—理論計算法の適用基本フロー」（別添 1 参照）には「検証された放射化計算方法の選択」とあるが、どのように放射化計算方法を検証するのかについて、日本原子力学会は次のように説明している⁷⁷。

計算コードの適切性の確認については、「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン」（JANSI-GQA-01-第 3 版）[1] 4.2.2 計算機プログラムの検証に示される下表に示します確認方法を適用して、可能な方法（複数）にて確認します。

確認項目・確認方法	適切と判断する基準等
・汎用ソフトウェアの導入評価（解析条件に応じた使用実績確認等）の確認	使用実績における計算値と分析値の比較評価（傾向分析）が妥当であること

⁷⁶ 第 4 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 4-1「適用範囲と理論的方法の特徴」回答 5

⁷⁷ 第 4 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 4-1「適用範囲と理論的方法の特徴」回答 6

・トピカルレポート（許認可申請において原子力施設共通事項として取りまとめた技術文書）審査等の規制機関による確認	許認可審査等により規制機関に確認を受けている実績があること
・実機運転データとの比較	計算値と分析値の比較評価（傾向分析）が妥当であること
・大型実験又はベンチマーク試験結果との比較	計算値と分析値の比較評価（傾向分析）が妥当であること
・規制機関によるクロスチェック	規制機関によるクロスチェックされている場合はその実績があること
・他の計算機プログラム（他機関、社内）による計算結果との比較	他の計算コードの計算値と比較評価（傾向分析）が妥当であること
・簡易モデル（サンプル計算例）、標準計算事例を用いた解析結果との比較	サンプル計算例との計算値が一致すること
・手計算又は理論解との比較	手計算結果との比較評価（傾向分析）が妥当であること

また、放射化計算コードの適切性の確認においては、放射化範囲の中性子条件（中性子フルエンス率、スペクトル）を反映した放射化計算ができるコードを選択することが必要であることから、ORIGEN 又は ORIGEN2 コードシリーズを選択します。

次にどのように放射化計算方法を検証するのかについてですが、上記の確認の中で計算値（予測値）と分析値（実験値）との比較（実機運転データとの比較又は大型実験又はベンチマーク試験結果との比較）を通じた放射化計算方法全体の妥当性を確認することを意味しております。

その妥当性評価の事例として、実機運転データとの比較について以下に示します。

例えば、ORIGEN2 用の JENDL-4.0 の放射化断面積が発行された際の文献[1]において、PWR 使用済み燃料の照射後解析の結果（下図）から、実験値（E 値）と ORIGEN2 による計算値（C 値）との比較結果（C/E-1）を図に示しています。JENDL-4.0 による計算結果（PWR41J40 の結果：下図の赤い■）は、Cm-246, Cm-247 では 20～30%程度のずれがありますが、その他の核種については 10%以内で実験値を再現していることが傾向分析されており、計算値と実験値はよく一致していることが評価されています。

<参考>文献[2]の P36 抜粋

- ORLIBJ40 による計算結果は、Cm-246 と Cm-247 を除けば、ほぼ 10%以内で実験値を再現しており、ORLIBJ33 で見られた一部核種に対する過小評価も改善されている。

[1]<http://www.genanshin.jp/archive/qualityimprovement/data/jansi-gqa-01.pdf>

[2]奥村啓介他「JENDL-4.0 に基づく ORIGEN2 用断面積ライブラリセット」JAEA-

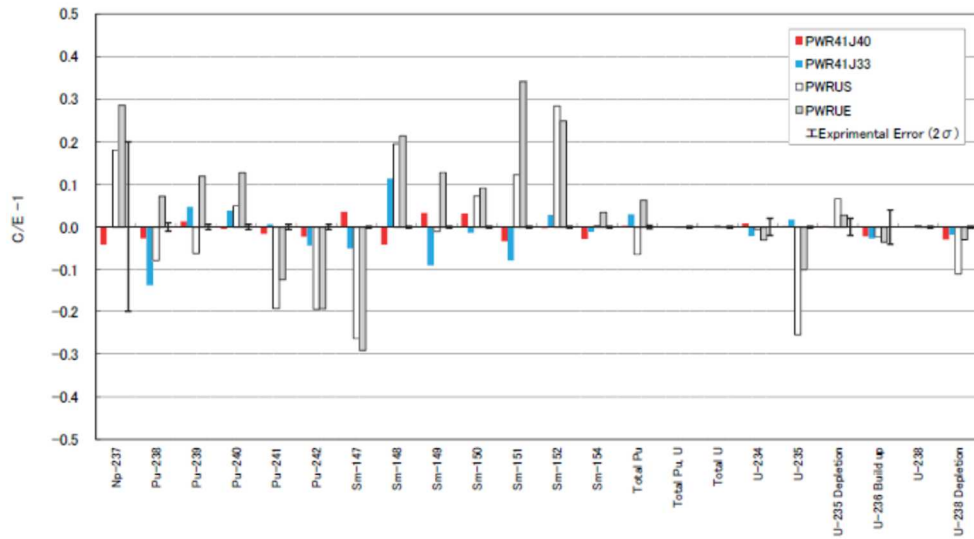


図 3.4-7 高浜 3 号炉使用済み燃料組成の計算値(C)と実験値(E)との比較(その 1)

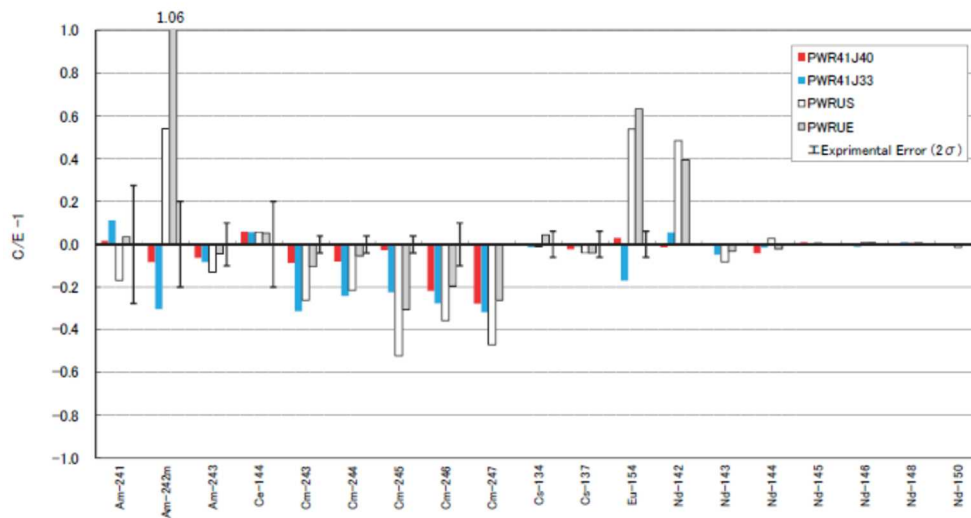


図 3.4-8 高浜 3 号炉使用済み燃料組成の計算値(C)と実験値(E)との比較(その 2)

補足：計算コードの適切性確認の組み合わせについて

計算コードの適切性の確認には、A:Verification (検証) と B:Validation (妥当性確認) の組み合わせが必要と考えます。C:その他 はもしあればという位置づけです。項目分けを下表に示します。

Verification (検証) は計算コードの基礎となる計算モデル (計算式) が正しいかを確認する過程であり、表中の項目のうち、「他のプログラム (他機関、社内) による計算結果との比較」、「簡易モデル (サンプル計算例)、標準計算事例を用いた解析結果との比較」、「手計算又は理論解との比較」が該当します。

Validation(妥当性確認)は、計算コードが現実の物理現象を正しく表現しているかを確認する過程であることから、表中の項目のうち、「実機運転データとの比較」、「大型実験又はベンチマーク試験結果との比較」が該当します。

なお、トピカルレポート(許認可申請において原子力施設共通事項として取りまとめた技術文書)審査等の規制機関による確認では上述の Verification(検証)と Validation(妥当性確認)の両方が確認されていると考えられます。

確認項目・確認方法	項目分け
・汎用ソフトウェアの導入評価(解析条件に応じた使用実績確認等)の確認	C
・トピカルレポート(許認可申請において原子力施設共通事項として取りまとめた技術文書)審査等の規制機関による確認	A+B
・実機運転データとの比較	B
・大型実験又はベンチマーク試験結果との比較	B
・規制機関によるクロスチェック	C
・他の計算機プログラム(他機関、社内)による計算結果との比較	A
・簡易モデル(サンプル計算例)、標準計算事例を用いた解析結果との比較	A
・手計算又は理論解との比較	A

計算コードの適切性確認方法及び放射化計算方法の検証方法については、要求事項として記載を充実することが望まれる。

なお、「図 A.1—理論計算法の適用基本フロー」のフロー図が主で「A.1.2 STEP1: 計算のための基本の設定」から「A.1.5 STEP4: 結果の提示」までの各ステップの内容が従の構成になっているが、各ステップの内容を主とし、図は理解を助けるための参考とすることが望まれる。

- ③ 「A.3 放射化計算コードの例」の冒頭に、「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。」とある。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、日本原子力学会は次のように説明している⁷⁸。

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

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

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

また、主要な放射化核種については、「附属書 F(参考) 放射化計算を行う場合の計算例」において ^{60}Co 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{14}C の分析値との比較により、放射化計算結果の

⁷⁸ 第4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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 14(3)

妥当性が確認されています。

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

[1] JAEA-Data/Code 2012-032 「JENDL4.0 に基づく ORIGEN2 用断面積ライブラリセット：ORLIBJ40」（2013年4月）

[2] JAERI-Data/Code 2004-015 「JENDL3.3 に基づく ORIGEN2 用断面積ライブラリセット：ORLIBJ33」（2004年11月）

[3] JAERI-Data/Code 2000-036 「JENDL3.2 に基づく軽水炉 MOX 燃料用 ORIGEN2 ライブラリ」（2000年11月）

[4] A. G. Croff, “ORIGEN2: A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristics of Nuclear Materials”, *Nuclear Technology*, Vol. 62, (1983).

[5] https://www.ndc.jaea.go.jp/Labo/index_J.html

「評価対象核種となりうる全ての核種に対する当該計算コードの適用性」についての回答が、FP核種、アクチニド、Co-60、Ag-108m、C-14に限定されており、「評価対象となりうる全ての核種」に対する適用性の回答となっていない。例示された核種以外の評価対象となりうる核種への適用性を確認することが望まれる。

- ④ 「A.3 放射化計算コードの例」に5種類のORIGEN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、日本原子力学会は次のように説明している⁷⁹。

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

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

ORIGENコードシリーズ (ORIGEN79、ORIGEN-S) は、複数群の中性子断面積を内蔵しており、熱中性子、共鳴領域中性子及び高速中性子の中性子フルエンス率の比を

⁷⁹ 第4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4-2-1 回答7(2)

入力することによって、中性子スペクトルを反映できる放射化計算コードです。

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

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

コード		内蔵又は付属の断面積ライブラリの基となる核データ	断面積ライブラリの取扱い
ORIGEN コードシリーズ	ORIGEN79	ENDF/B-IV	<ul style="list-style-type: none"> 左記の核データに基づく複数群の中性子断面積を内蔵しており、熱中性子、共鳴領域中性子及び高速中性子の中性子フルエンス率の比を入力することによって、中性子スペクトルを反映した放射化断面積を使用できる。
	ORIGEN-S	ENDF/B-VI	
ORIGEN2 コードシリーズ	ORIGEN2	ENDF/B-IV	<ul style="list-style-type: none"> 左記の核データに基づく原子炉型式、燃料の組合せに対する燃料領域における 1 群実効核反応断面積ライブラリがあらかじめ準備されている。 上記以外については、核データ及び放射化金属等の計算位置の中性子のスペクトルを用いて 1 群に縮約した放射化断面積をユーザーが作成する。
	ORIGEN2.1	ENDF/B-V JENDL-3.2 ^{*1} JENDL-3.3 ^{*1}	
	ORIGEN2.2	ENDF/B-V JENDL-3.2 ^{*1} JENDL-3.3 ^{*1} JENDL-4.0 ^{*1}	

*1 ORIGEN2.1 及び ORIGEN2.2 では、日本原子力研究開発機構から公開されている JENDL シリーズの ORIGEN2 用 1 群実効核反応断面積ライブラリ (ORLIBJ32、ORLIBJ33、ORLIBJ40) の使用が可能。

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日本原子力学会は次のように説明している⁸⁰。

本標準「6.1.2.3 中性子条件」に「使用する放射化計算コードに内蔵又は付属されている放射化断面積ライブラリから選択する。このとき、最新の計算コード及び放射化断面積ライブラリを確認する。」と記載されているとおり、基本的には最新

⁸⁰ 第4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 4-2-1 回答 7(2)への更問回答

の計算コード及び最新の核データを使用して計算を行います。

なお、旧版の計算コード及び核データライブラリであっても分析値のある対象物について、最新版に対して旧版の計算コードまたは核データライブラリで評価した結果、主要核種に大幅な差異がない場合は使用可能と考えます。

上述のとおり旧版を使用する場合、最新版との差異を評価した上で使用することから、技術評価のスタンスとして最新のコード及び最新の核データを使用するスタンスとすることについて、本標準と乖離はありません。

○標準に記載している計算結果について

標準に記載している計算結果は最新版と旧版の両方で評価されていないため大幅な差異がないことは確認されていませんが、下表に示す、付属書I及びJの評価例に示される核種のうち放射化以外から発生するFPおよびアクチニドを除いた放射化核種についての主要な核データライブラリの比較により大幅な差異はないと考えております。大幅な差異がないとは、図B.4「放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果（放射化断面積の影響）」の脚注b)に示すように、放射能濃度への影響が2～3倍程度以内の場合は影響が小さく、大幅な差異はないとしています。

生成核種	主な生成反応*	ORLIBJ40/ORLIBJ32				ORLIBJ40/ORLIBJ33			
		BS200	BS270	PWR34	PWR47	BS200	BS270	PWR34	PWR47
C-14	N-14 (n, p)	1.38	1.12	1.04	1.10	1.34	1.08	1.00	1.06
Cl-36	Cl-35 (n, γ)	1.30	1.03	0.95	1.01	1.53	0.78	0.87	0.74
Co-60	Co-59 (n, γ)	1.22	1.05	1.00	1.04	1.22	1.05	1.00	1.04
Ni-63	Ni-62 (n, γ)	1.29	1.03	0.95	1.02	1.29	1.03	0.95	1.02
Nb-94	Nb-93 (n, γ)	0.41	0.39	0.38	0.38	0.41	0.39	0.38	0.39
Tc-99	Mo-98 (n, γ)	1.04	1.07	1.07	1.07	1.05	1.07	1.08	1.07

*: アイソトープ手帳12版（公益社団法人 日本アイソトープ協会）より

計算コードについては断面積ライブラリの更新等により、従前の計算コードが使えなくなることもあり、信頼性が確認された最新のもの⁸¹を適用することを明確にするよう記載の充実が望まれる。

- ⑤ 「A.3 放射化計算コードの例」の「c) ORIGEN コードの種類」において、末尾のなお書きに「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して使用する」と規定されている。具体的な断面積の設定方法について、日本原子力学会は次のように説明している⁸²。

「評価対象とする放射化金属等を照射する中性子スペクトルを反映した断面積をユーザーが準備する」については、ORIGEN2 コードシリーズの手順です。ORIGEN2

⁸¹ 参考文献：奥村啓介「原子炉の廃止措置における放射化断面積データの現状と利用(2)近年の評価済み核データライブラリを用いた放射化計算における留意点」日本原子力学会 2022 年秋の大会 3N_PL02

⁸² 第4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 4-2-1 回答7(3)及び更問回答

コードシリーズについては、炉内で照射される放射化金属等（制御棒、バーナブル
 ポイズン棒などの運転中廃棄物）に対しては、炉内の燃料領域のスペクトルで縮約
 された 1 群実効核反応断面積ライブラリが使用できますが、燃料領域以外など中
 性子スペクトルが異なる位置の放射化金属等（バッフルなどの解体廃棄物）に対し
 ては、当該位置の中性子スペクトルを反映した 1 群縮約断面積を準備する必要が
 あります。断面積の作成フローを下図に示します⁸³。

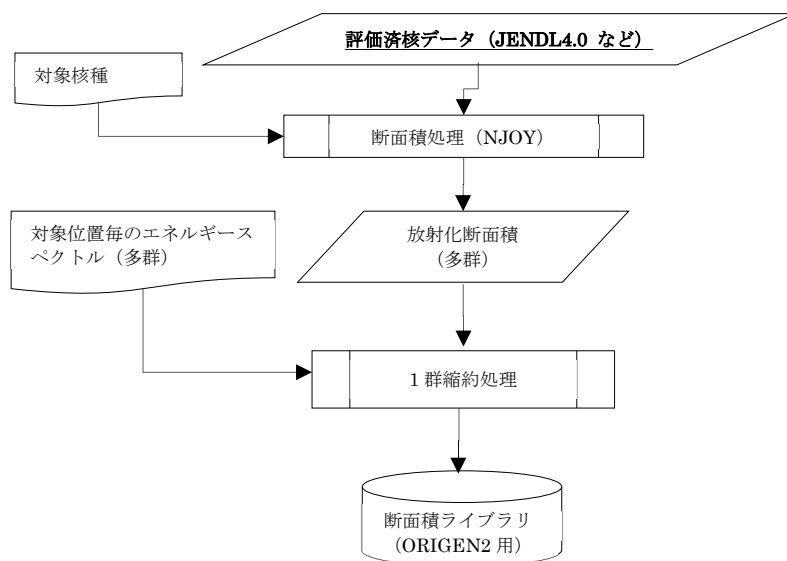


図 1 群実効核反応断面積ライブラリの作成フロー

計算コードについては断面積ライブラリの更新等により、従前の計算コードが使え
 なくなることもあるので、計算に用いる核反応断面積の作成手順の記載を充実するこ
 とが望まれる。

- ⑥ 「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。」とある。放射化計算のほかに想定している方法及び放射化
 計算などによって得られた結果の「正確さ」及び「適用性」はどのように確認するのか、

⁸³ 断面積作成フローは、以下の文献[1]における断面積作成フロー（図 3.2-1）を参考としている。

断面積処理 (NJOY)：JENDL4.0 等の評価済核データは連続エネルギーのデータであるため、放射化金
 属等の評価対象核種に対して、別途、中性子輸送計算コードで計算した中性子スペクトルと同一
 のエネルギー群構造となるように、断面積処理コードの NJOY を用いて多群エネルギー群構造を
 有する断面積に処理する。

1 群縮約処理：多群エネルギー群構造化した放射化断面積に、対象部位における中性子スペクトルの
 各エネルギー群毎の割合により重み付けすることで、ORIGEN2 コードで利用可能な 1 群縮約断
 面積を作成する。

[1] 奥村啓介他「JENDL-4.0 に基づく ORIGEN2 用断面積ライブラリセット」 JAEA-Data/Code2012-032

日本原子力学会は次のように説明している⁸⁴。

放射化計算のほかに、中性子輸送計算の各計算コードに関しては、それぞれに別途検証が行われていると考えられるため、その検証された結果の確認があります。

また、結果の「正確さ」と「適用性」に関しましては、「附属書F (参考) 放射化計算を行う場合の計算例」¹⁾に示しましたように、評価対象廃棄物のサンプリング・分析結果と理論計算法の計算結果との比較検証によって計算の正確さと、この理論計算の入力条件の設定の適用性が確認できます。

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

「得られた結果に関する正確さ及び適用性を確認する」方法として、「放射化計算など」とするのではなく、適用する計算コードの検証結果を明確にすることが望まれる。また、得られた結果の「正確さ」及び「適用性」については、引用先を記載するなど明確にすることが望まれる。

また、「A. 4. 1 妥当性確認」のなお書きにおいて、「放射化計算方法に関する妥当性確認は、AESJ-SC-A008:2015を参照する。」とある。「参照」の意味するところ、及び「計算の準備」「計算の実施」「計算結果の記録」それぞれのステップについて、放射能濃度決定標準の参照範囲とその内容、適用できる根拠について、日本原子力学会は次のように説明している⁸⁵。

「AESJ SC-A008:2015 シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン」の「3.4 エlement 4：シミュレーションモデルの予測性能の判断」に示される考え方（評価指標、不確かさ、予測性能と実験値の比較）を踏まえ、「計算の準備段階」で、放射化計算方法・計算コードが検証・妥当性確認された際の結果を確認、若しくは計算者自らが放射化計算方法全体を通じた計算値（予測値）と分析値（実験値）との比較を通じて、放射化計算方法・計算コードの妥当性を確認します。

したがって、上記ガイドラインの考え方（3.4 エlement 4：シミュレーションモデルの予測性能の判断）を踏まえ、これを適用する箇所は「A. 4. 2 計算の準備段階」だけとなります。

また、AESJ SC-A008:2015は原子力学会にて審議・制定されたガイドラインであり、対象がシミュレーションモデルと本標準の放射化計算との相違はあるものの、計算の妥当性に関しては、その考え方を適用できるものと考えます。ただし、この確認対象の差異を考慮し、限定的な適用として、ガイドラインの参照部分（3.4 章

⁸⁴ 第4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4-2-2「適用範囲と理論的方法の特徴」回答15

⁸⁵ 第4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4-1「適用範囲と理論的方法の特徴」回答7

エレメント 4 だけ) と標準への適用範囲を A. 4. 2 章の計算の準備段階としているものです。

さらに、放射化計算などによって得られた結果を確認しますが、そのプロセスは、下表に示しますように「計算の準備」、「計算の実施」及び「計算結果の記録」の段階に分けて、実施します。

放射能評価の各段階	妥当性確認などの内容
計算の準備段階	<ul style="list-style-type: none"> 放射化計算方法又は放射化計算コードの妥当性の確認 必要な手順書、計算書の準備 (文書化)
計算の実施段階	<ul style="list-style-type: none"> 文書化された放射化計算方法に従っての実施の確認 必要な放射化計算の条件を記録 (入力データの明確化及びトレーサビリティの確保)
計算結果の記録段階	<ul style="list-style-type: none"> 実施した放射化計算の結果の記録及び確認 放射化計算の結果を踏まえた放射能濃度の評価の確認¹⁾

注 1) 放射能濃度の評価結果に含まれる入力データの妥当性、不確かさなどを踏まえた評価は、この中で行います。

「A. 4. 1 妥当性確認」のなお書きの内容が計算の準備段階に関するものであれば、記載場所を「A. 4. 2 計算の準備段階」に移した方が理解しやすい。「計算の準備」「計算の実施」「計算結果の記録」それぞれのステップについては、引用先を明確にするなど何の妥当性確認をするのか、明確にすることが望まれる。

- ⑦ 「A. 4. 2 計算の準備段階」には、「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」とある。手順書に記載すべき内容について日本原子力学会は次のように説明している⁸⁶。

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

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

⁸⁶ 第 4 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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 16

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

上記説明を踏まえて、手順書に記載すべき最低限の内容について明確にすることが望まれる。

- ⑧ 「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。記録すべき項目について日本原子力学会は次のように説明している⁸⁷。

放射能評価を行った結果としての記録の項目としましては、「附属書N（参考）理論計算法の記録の例」（下記参照及びISO 16966⁸⁸を参照）に示しております項目の内、トレーサビリティに関しては、a)、b)、d)、h)になります。

N.1 結果の記録内容

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

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

トレーサビリティが要求される記録については、引用先を明確にすることが望まれる。

- ⑨ 「A.4.4 計算結果の記録段階」には、「放射化計算の結果を記録し、妥当性を確認する」とある。妥当性の確認方法について、また、AESJ-SC-A008:2015「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン」に従うのであれば、AESJ-SC-A008:2015のどの部分

⁸⁷ 第4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4-2-2「適用範囲と理論的方法の特徴」回答17

⁸⁸ ISO 16966:2013 Theoretical activation calculation method to evaluate the radioactivity of activated waste generated at nuclear reactors

を用いて妥当性を確認するのか、日本原子力学会は次のように説明している⁸⁹。

「計算結果の記録」の段階における妥当性の確認方法とは、必要な計算条件を明確化し、理論計算法の放射化計算方法及び計算手順が期待される結果を与えることを（客観的、文書化された証拠によって）明示することです。

なお、「計算結果の記録」の段階における妥当性確認には、AESJ-SC-A008:2015 を適用しません。

「A.4.4 計算結果の記録段階」では、必要な計算条件を設計図面等の入力根拠と共に文書化し、理論計算法の放射化計算方法と計算手順の文書化によりプロセスが妥当であることを示し、得られた放射化計算の結果の妥当性を確認します。放射化計算の結果の妥当性確認方法は、原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン（JANSI-CQA-01-第3版）における「4.3 解析結果の審査、検証」が該当します。

放射化計算の結果の妥当性確認においては、計算条件を明確化した類似解析結果との比較、または、既知の理論値や経験値との比較（物理的又は工学的整合性の確認）により傾向分析（条件ごとに結果に与える影響度を評価し、すべての条件による影響が結果に反映されていることの確認など）を行い妥当であることを確認します。条件ごとに結果に与える影響度を評価し、すべての条件による影響が結果に反映されていることの確認事例を本書別紙の別添3⁹⁰に示します。

客観的、文書化された根拠とは、第三者が評価を再現できるような図書及び結果の妥当性を示す図書を想定しています。

放射化計算の結果の妥当性確認方法として、「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン（JANSI-CQA-01-第3版）」における「4.3 解析結果の審査、検証」が該当するのであれば、それを記載して確認方法を明確にすることが望まれる。

2. 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

- ① 「B.2 元素成分条件」の「表 B.2-元素成分条件（変化率は、SUS304 を想定したもの）」に記載する元素 Co 及び Cu は JIS SUS304 の化学成分には規定されていない。材料の種類から元素成分条件をどのように想定するかについて、日本原子力学会は次のように説明している⁹¹。

評価対象とする元素（申請核種の起源元素）は、JIS 規格から定めるものではな

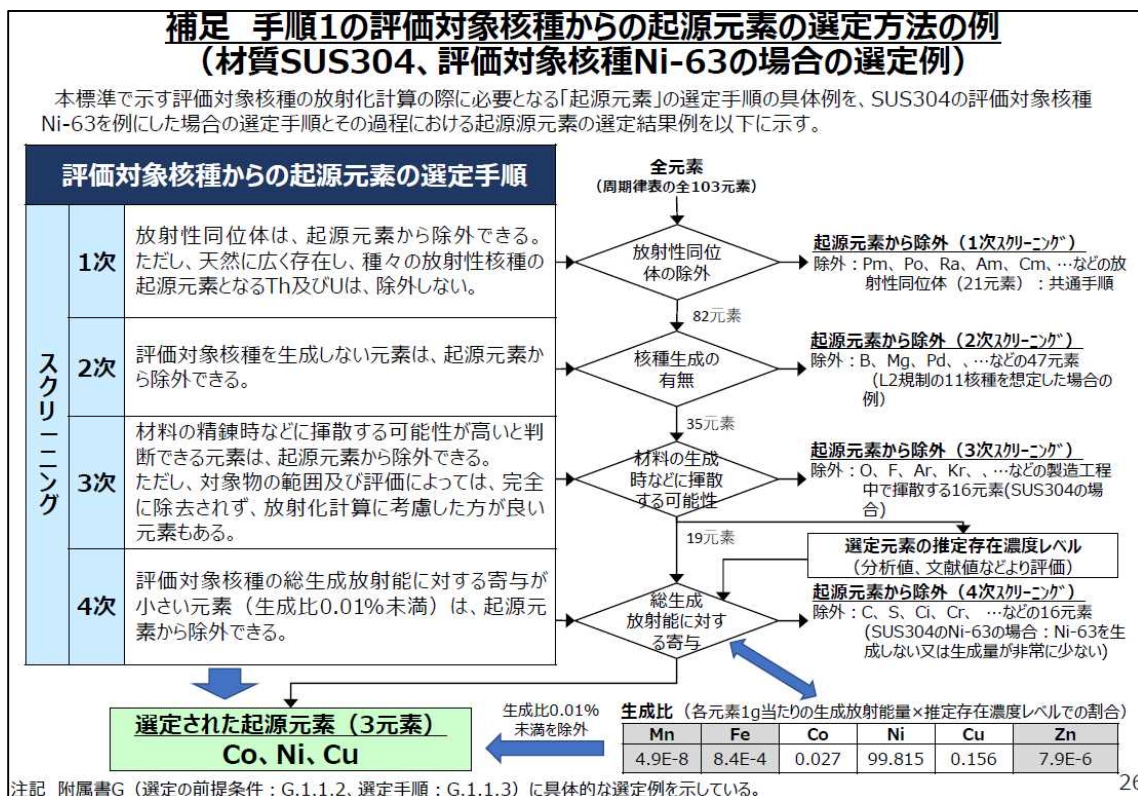
⁸⁹ 第4回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料4-1「適用範囲と理論的方法の特徴」回答8及び更問回答

⁹⁰ 第4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4-2「資料4-1別紙」の別紙3「放射化計算結果の妥当性確認について」

⁹¹ 第4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4-2-2「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」回答11(1)

く、標準 6.1.2.2.1 及び附属書 G の G.1.1 に示します起源元素の選定方法に従って、全元素を対象として、その中から選定するものです。

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



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

起源元素の設定手順については材質に関係なく全元素を対象としている。元素成分条件の設定については「附属書 I (参考) 濃度比を用いる場合の計算例」に関する気付きで述べる。

また、元素成分 B/元素成分 A 比が Co は 10 倍、Ni は 5 倍、Cu は 0.2 倍とされているが、比の妥当性について、日本原子力学会は、以下のように説明している⁹²。

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

そのため、その設定は、B.1 に示しておりますように、放射能評価に適用する入

⁹² 第4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 4-2-2 「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」 回答 11(2)

力条件とは異なり、仮想の条件（ただし、設定した条件は明確にしたもの）で、その条件の差による影響が、放射能濃度と濃度比とに、どの程度現れるかを示したものです。

このため、設定値の妥当性を問うような性格の設定値ではありません。

B.1 概要

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

元素成分条件が解析結果に与える影響を評価したものであるが、図 B.1 は Co 量を 10 倍、Ni 量を半分にした条件で 10 年連続照射時間を 1 日から 10 年まで変化させた場合の ^{63}Ni と ^{60}Co の放射能が比例関係で示されているのみで Fe や Cu との関係は示されていない。元素成分 B/元素成分 A 比は結果を比較しやすいように設定したと推測するが、元素成分条件に示す他元素の解析結果を示さずに「元素成分条件は、放射能濃度及び濃度比のいずれに対しても影響の比較的大きい条件である」と結論づけている。解析条件と解析結果の範囲が整合するように記載することが望まれる。

- ② 「B.2 元素成分条件」の解析結果を示す「図 B.1—放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果（元素成分条件の影響）」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—放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果（放射化断面積の影響）」は 3.2 シリーズ）が使用されている。これらのライブラリは 2010 年 5 月に 4.0 シリーズが公開されているが、4.0 シリーズを使用した場合の影響について、日本原子力学会は次のように説明している⁹³。

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

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

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

⁹³ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 11(3)

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

*: アイソトープ手帳12版 (公益社団法人 日本アイソトープ協会) より

上記表中の Nb-94 は ORLIBJ40 で約 0.4 倍に低下している。標準策定で使用した資料に年代差があり核データライブラリの版が異なるものと推測するが、どのような核データライブラリを用いるのが妥当かについて、具体的記載を加えることが望まれる。

- ③ 「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」とし、「B.5 放射化計算の条件の影響評価結果 (解析結果のまとめ)」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)」としているが、「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ない。「図 B.4—放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果 (放射化断面積の影響)」に示す解析結果から、放射能濃度及び濃度比への影響は小さいとする根拠、及びここでの濃度比は何を比較するのかについて、日本原子力学会は次のように説明している⁹⁴。

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

⁹⁴ 第4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 4-2-2 「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」回答 14

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

注^{a)} 放射化計算コード:ORIGEN2, ライブラリ:JENDL Activation File [$^{59}\text{Co} (n, \gamma) ^{60}\text{Co}$], JENDL3.2 [$^{62}\text{Ni} (n, \gamma) ^{63}\text{Ni}$]シリーズ

注^{b)} 影響の程度は, “小: 2~3 倍程度以内の差異を生む” を意味する。

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

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

表 放射能濃度への影響 (ARO/D バンク)

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

注 1) 照射 5.5y の ARO バンク/D バンクの放射能濃度を示す

表 放射能濃度比への影響 (ARO/D バンク)

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

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

放射能濃度決定標準では 2~3 倍程度以内の差異を影響の程度として小と区分している。放射化断面積の差異が放射化計算結果に与える影響は放射能濃度及び濃度比のいずれに対しても小さいとしているが、放射能濃度は 3.2 倍程度 (対数で半目盛) の影

響があることを解説等に追加することが望まれる。

- ④ 「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—放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果（中性子の照射停止後の核種の減衰の影響）」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る。この実線の意味について、日本原子力学会は次のように説明している⁹⁵。

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

解析結果のプロットを示す図中に補助目盛線以外の線を記載する場合は、注意書きで説明することが望まれる。⑤ 「B. 5 放射化計算の条件の影響評価結果」

「B. 5 放射化計算の条件の影響評価結果」における、「濃度比法」と「濃度比」との使い分け、及び「換算係数」と「換算係数法」の使い分けについて、日本原子力学会は次のように説明している⁹⁶。

標準では、基本的に、下記のように用語として使い分けています。

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

使い分けしているところであるが、複数箇所に「濃度比を用いる場合」及び「換算係数を用いる場合」が使用されており、当該部分は「濃度比法を用いる場合」及び「換算係数法を用いる場合」の方が適切と思われることから見直すことが望まれる。

3. 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

- ① 「附属書 C」には、複数箇所に ISO16966:2013 の Annex B が参照されている。ISO16966:2013 の「Annex B(informative) Suggested procedure for the point method for activation calculation」(仮訳：(参考) 点推定法による放射化計算の推奨手順)には、放射化計算に必要な諸条件の設定の考え方及び手順並びに計算コードが示されているが、推奨事項であり、それ以外の手順を制限するものではない。当該文献の何を参照しているか、日本原子力学会は次のように説明している⁹⁷。

ISO 標準の Annex B 全体が適用対象です。なお、特定の部分を念頭に参照するとしたわけではありません。また、ISO 標準の詳細内容については、転載許諾の制限で、現段階では学会として内容の詳細を示すことが出来ないため、正式手続きにて

⁹⁵ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 15

⁹⁶ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 16

⁹⁷ 第 4 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 4-1 「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」回答 3

当該標準を参照願います。

また、点推定法は理論計算法の一つとされているが、「C.3 線量率測定による検証、調整」に「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。」とある。線量率測定による放射化計算結果の補正について、日本原子力学会は次のように説明している⁹⁸。

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

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

附属書 C は入力データ設定のための推奨方法を記載したものであるが、放射能濃度決定標準の「6. 放射能濃度決定方法の手順」において附属書 C を引用しているのは「6.1.2.1 放射化計算の入力条件」のみであり、「C.3 線量率測定による検証、調整」に関係する「6.3 妥当性確認」には引用がない。Annex B 全体が適用対象であれば、「C.2 放射化計算の実施順序」から「C.3 線量率測定による検証、調整」までの各項目について、ISO16966:2013 Annex B の適用項番号を明確にすることが望まれる。

4. 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

① 「D.1.2 換算係数法」

a) 「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。」と規定されている。

「又は」とする理由について、日本原子力学会は次のように説明している⁹⁹。

換算係数法による評価では、下記のいずれかの管理指標を適用して評価することが想定されます。管理指標は評価対象物に応じて選択するため、「又は」で表現したものです。

① 「対象物」に対して「照射量」と「比例する因子」が管理され「管理指標として利用できます」

⇒ 例えば、発電所ではチャンネルボックス 1 体毎に、照射量と比例する「燃焼

⁹⁸ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 17

⁹⁹ 第 3 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 3-1 回答 4(1)

度」を管理しています。この場合、管理指標 B は「燃焼度」になります。（主な適用対象：チャンネルボックス、制御棒）

もう一方は、

②（個々の対象物に対して「照射量」と「比例する因子」とが管理されていない状態であったとしても）「対象物」の代表的な、若しくは保守的なフルエンス率（ Φ ）を設定できれば、照射時間（ t ）から「照射量」を決定できます。

⇒ 中性子照射期間中配置の変更がなく、中性子照射期間中の代表的、若しくは保守的な中性子フルエンス率が設定しやすいものに適用します。この場合、管理指標 B は「運転期間」になります。（主な適用対象：シュラウド、核計装管）

換算係数法の評価式： $A=R \times B$

換算係数 R：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

管理指標 B：評価対象物の中性子の照射量（ $\Phi \times t$ ）に比例する因子

換算係数法の管理指標の例示については、適用可能とした根拠を解説等に明確にすることが望まれる。

b) 「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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁰⁰。

管理指標として、対象の放射能濃度に影響を与える複数の因子がある場合、つまり、燃焼度と累積照射時間、照射量と累積照射時間がある場合は、情報量が多い燃焼度、照射量を利用します。

例えば、制御棒の評価事例においては、管理指標として照射量を利用します。換算係数法の評価式は、以下のとおりとなります。

$$A = R \times B \text{ (換算係数} \times \text{管理指標)}$$

$$R = N \times \sigma \times \lambda$$

$$B = \Phi \times t$$

N：親核種の照射前の原子数密度（ cm^{-3} ）

σ ：親核種の放射化断面積（ cm^2 ）

λ ：生成核種の崩壊定数（ s^{-1} ）

$\phi \times t$ ：中性子照射量（ n/cm^2 ）

ここで、照射量（ $\phi \times t$ ）については、管理指標として、制御棒の寿命の観点か

¹⁰⁰ 第3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 3-1 回答 4(4)

ら、各サイクルでの制御棒の配置位置、制御棒の挿入位置（挿入・引抜き）に基づく制御棒先端部の中性子照射量が、中性子輸送計算/拡散計算によって算出され管理されています。また、放射化断面積 σ については、制御棒の挿入・引き抜きにより断面積が変動しますが、Dバンク位置（定格出力時の挿入位置）又はAROバンク位置（定格出力時の全引抜き位置）のいずれかのうち、生成核種に対する反応断面積が大きくなる方にて代表設定します。

換算係数法は附属書「J. 1. 2 放射化計算の条件の設定」の「a) 元素成分条件」において、「各元素の濃度の代表値を1点設定する」と規定されているが、濃度比法は各元素の濃度をランダムサンプリングした複数点で評価している。区間推定法としての適用可能範囲が異なるので、「D. 1. 1 区間推定法の種類」にはそれぞれの適用可能範囲と制限事項について明確にすることが望まれる。

② 「D. 1. 3 濃度比法」

a) 「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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁰¹。

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。

なお、廃棄体ごとの Key 核種の放射能濃度を決定する方法としては、次の2つの方法が考えられます。

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①の大型廃棄物を収納した容器とは廃棄体の容器のことであり、放射能濃度評価のために必要な廃棄体の設計情報は切断前の大型廃棄物の難測定核種と Key 核種の放射能濃度分布である。その放射能濃度分布から切断位置と収納容器への配分方法を検討することが必要となるが、適切な廃棄体ごとの評価を行うために必要な記録の種類及びその内容が示されていない。また、②の非破壊外部測定による Key 核種の放射能濃度評価は、廃棄体容器の材質、厚さ、遮へい材の有無、内部の線源分布

¹⁰¹ 第4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4-2-1 回答9(1)

等に依存するが、現時点において廃棄体の詳細な要件が示されていない。

したがって、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して
いる。複数の収納容器に分割配置する廃棄物に濃度比法を用いる場合は、切断前に廃
棄物の難測定核種と Key 核種の放射能濃度分布を評価し、その放射能濃度分布から
切断位置と収納容器への配分方法を検討することが望まれる。

- b) 「D.1.3 濃度比法」の第2段落において「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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁰²。

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。

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

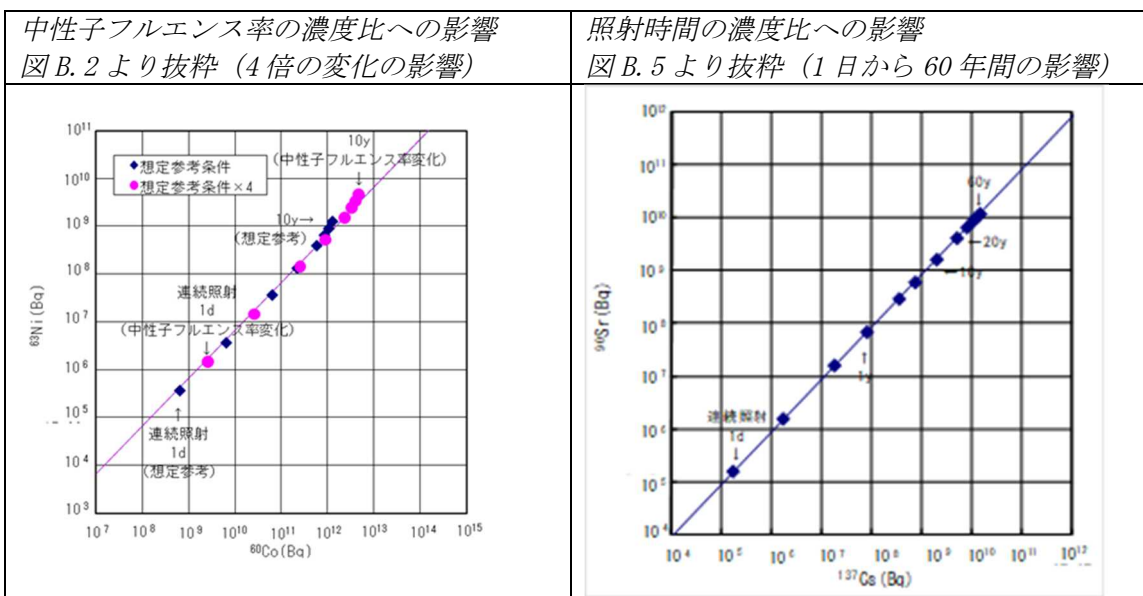
ここに、 A : 評価対象とする放射化金属等の放射能濃度 (Bq/cm³)
 σ : 親核種の放射化断面積 (cm²)
 N : 親核種の照射前の原子数密度 (cm⁻³)
 Φ : 中性子フルエンス率 (n/cm²/sec)
 λ : 生成核種の崩壊定数 (s⁻¹)
 t : 中性子の照射時間 (s)

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

¹⁰² 第4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 4-2-1 回答 9(2)

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。



上記の「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について、日本原子力学会は、理論的根拠は上記のなお書きと同じとした上で次のように説明している¹⁰³。

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

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条件においても、成立するとの説明を受けた。

- c) 「D. 1.3 濃度比法」の濃度比が一定となる条件について、中性子フルエンス率が同一であっても、中性子スペクトルが異なると放射化断面積が変化すると想定される。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、日本原子力学会

¹⁰³ 第 4 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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 5

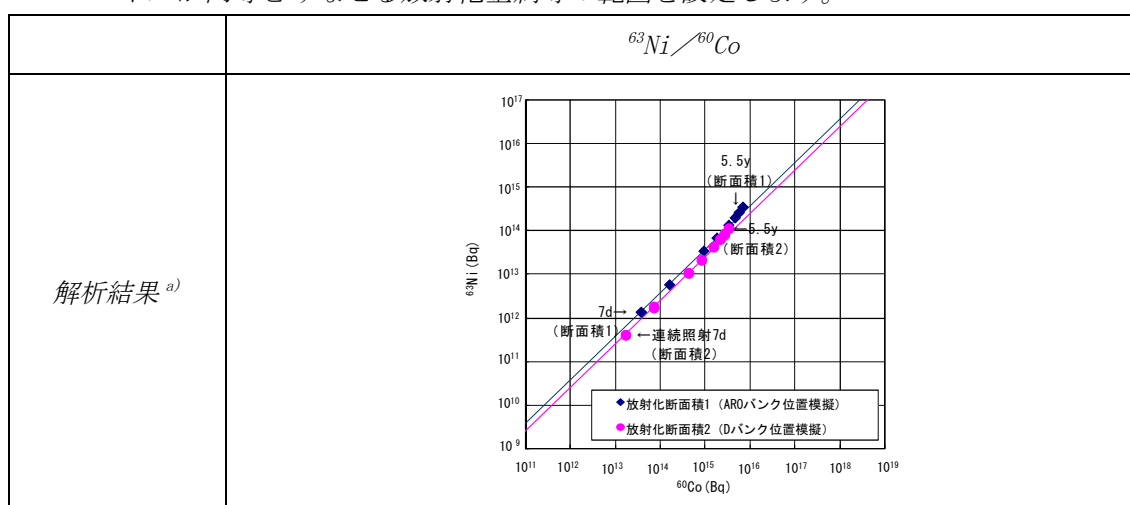
は次のように説明している¹⁰⁴。

本標準では、附属書 B の図 B. 4 「放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果（放射化断面積の影響）」の脚注 b) に示すように、放射能濃度の評価結果への影響が 2～3 倍程度以内の場合は、放射能濃度への影響が小さく、濃度比を一定とする場合の中性子スペクトルを同等とみなせるとしてしています。

中性子スペクトルの変化が大きくなる代表的な例としては、附属書 B の図 B. 4 「放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果（放射化断面積の影響）」において、評価上、保守側に ARO バンクの放射化断面積を設定して評価した例が挙げられます。上記の事例における中性子フルエンス率を同一とした場合の中性子スペクトルの変化による放射化断面積の放射能濃度への影響を下表に示します。D バンクに対する ARO バンクの放射能濃度は、Co-60 で 2.1～2.2 倍、Ni-63 で 3.2 倍を示しています。

項目	-	各照射時間における放射能濃度（廃棄物 1 t あたり）(Bq)							
		照射時間	7.0D	30.0D	180.0D	1.0YR	2.0YR	3.0YR	4.0YR
AROバンク位置	Co-60	4.0E+13	1.7E+14	9.8E+14	1.9E+15	3.5E+15	4.8E+15	5.9E+15	7.2E+15
	Ni-63	1.3E+12	5.6E+12	3.4E+13	6.8E+13	1.3E+14	2.0E+14	2.6E+14	3.5E+14
Dバンク位置	Co-60	1.8E+13	7.7E+13	4.5E+14	8.8E+14	1.6E+15	2.3E+15	2.8E+15	3.5E+15
	Ni-63	4.1E+11	1.8E+12	1.1E+13	2.1E+13	4.2E+13	6.2E+13	8.3E+13	1.1E+14
放射能濃度の比 (AROバンク/Dバンク)	Co-60	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1
	Ni-63	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2

なお、中性子スペクトルが同等とみなせる範囲は、平均的な炉心条件における中性子輸送計算結果から、炉心の径方向及び軸方向の放射化金属等の内部の中性子スペクトルに関して横並びに比較して評価します。中性子スペクトルのうち、特に放射化反応が起こることが多い熱群に着目し、また評価対象核種に高速群で生成する核種がある場合には高速群にも着目して、スペクトルの割合を確認し、スペクトルが同等とみなせる放射化金属等の範囲を設定します。



¹⁰⁴ 第 4 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 4-1 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 2

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

注^{a)} 放射化計算コード：ORIGEN2, ライブラリ：JENDL Activation File [⁵⁹Co (n, γ) ⁶⁰Co], JENDL3.2 [⁶²Ni (n, γ) ⁶³Ni] シリーズ

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

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

中性子スペクトルについては、同一と見なす場合の条件について明確にすることが望まれる。

- d) 「D.1.3 濃度比法」の末尾に「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」とあるが、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推定される。

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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁰⁵。

ここで示します「評価対象とする放射化金属等が特定されれば、中性子の照射履歴の詳細情報が明らかでない場合でも、Key 核種濃度を測定すれば適用できる」とは、標準のこの文章の前段において、「対象とする放射化金属等の照射履歴（照射終了後の減衰含む）を考慮した平均的な難測定核種と Key 核種との濃度比を評価していることから」と示していますように、事前に区間推定法による評価を行った上で、適用しているものです。

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。

日本原子力学会は、「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、

¹⁰⁵ 第4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 4-2-1 回答 9(4)

減衰条件のいずれかが特定できない場合」としていることから、これらの制約条件を明確にすることが望まれる。

③ 「D. 1. 4 濃度分布評価法」

a) 第 2 段落において、「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。」と規定されている。「放射能濃度を保証する」具体的な方法について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁰⁶。

そのグループの個々の廃棄物について、下記の条件にあることです。

- ・材料が同一規格仕様のものであること
(鋼材検査証明書などの材料製造単位の品質証明ができるもので、品質変化が無いことの確認を行う)
- ・中性子フルエンス率がある一定の範囲内にあること
(原子炉内の中性子フルエンス率の分布を中性子輸送計算などで事前に評価し確認する)
- ・中性子照射条件が同一であること
(評価対象物の一部交換、移動履歴が無いことの確認を行う)

放射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されているが、放射能濃度決定標準には、これらが規定されていない。

なお、「5. 2. 3. 4 濃度分布評価法」では「炉内の固定された放射化金属等は、元素成分条件が同じ」ことを前提条件としているが、上記回答は「材料が同一規格仕様のものであること」としており、供用中や廃止措置期間中に付着する元素成分の影響が無視できない場合が考慮されていない。

「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。」とは、元素成分条件が同じであること、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、を追記する等、利用者の理解が深まるような見直しを行うことが望まれる。

b) 「D. 1. 4 濃度分布評価法」第 2 段落の末尾に「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。」と規定されているが、

¹⁰⁶ 第 4 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 4-2-1 回答 11(1)

「ある一定の範囲内」の意味について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁰⁷。

「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、廃棄体に収納した廃棄物の放射能濃度を保証するには、「ある一定の範囲内」が当該廃棄物の計算条件の変動範囲と一致していることが重要である。

「ある一定の範囲内となること」は、「個々の廃棄体内の当該廃棄物の計算条件の変動範囲と一致していること」であることを明確にすることが望まれる。

- c) 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。上記に関連して、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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁰⁸。

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。

計算条件の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れば、それを明確にした記載とすることが望まれる。

- d) 「D.1.4 濃度分布評価法」の第3段落において「放射能濃度の平均値などの決定に当たっては、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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁰⁹。

「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。

「計算結果に与える影響が小さいことが明らかな条件」が、評価対象の機器又は部

¹⁰⁷ 第4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4-2-1 回答11(2)

¹⁰⁸ 第4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4-2-1 回答11(3)

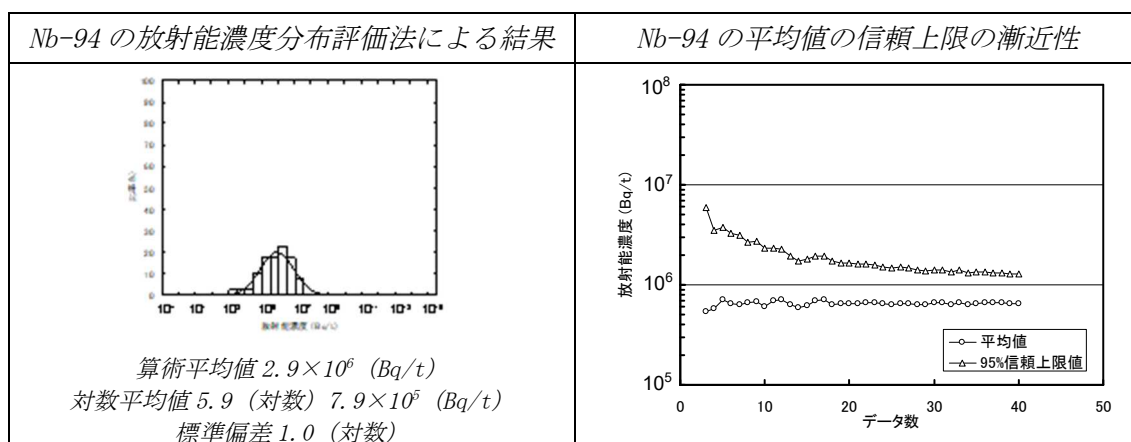
¹⁰⁹ 第4回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム参考資料4-2-1 回答11(3)

材を移動、交換していないことを意図するのであれば、それを明確にした記載とすることが望まれる。

- e) 「D. 1. 4 濃度分布評価法」の末尾において「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。」と規定しており、「安定して分布している」ことの評価方法について、日本原子力学会は次のように説明している¹¹⁰。

評価の対象とする放射化金属等の放射能濃度を評価した結果である放射能濃度分布を代表する放射能濃度（例えば、平均放射能濃度）の信頼性が、計算の回数（総数）を増加させても向上しないという意味です。

具体的には、放射化計算によって評価した放射化金属等の放射能濃度分布の平均放射能濃度の 95%信頼上限値は、実施した放射化計算の数量に応じて変化し、計算の回数が少ないとより大きな値を示します。しかし、計算の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。



また、「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いる。「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、日本原子力学会は次のように説明している¹¹¹。

¹¹⁰ 第4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 4-2-1 回答 11(4)

¹¹¹ 第4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 4-2-1 更問の回答 11(4)

「附属書 K (参考) 濃度分布評価法によって決定する場合の計算例」の「図 K. 5 ー放射能濃度評価値の安定性及び充足性の確認 (原子炉停止直後)」に示しましたように、計算の数量を多くすることで、「平均放射能濃度」と「平均放射能濃度の 95%信頼上限値」の差異が小さくなる傾向が見られます。これは両者の値が一定の値に近づく結果によるものです。

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 の 11(4) で回答しましたように、両者の差異が小さくなって漸近して一定の差の状態になる状態を、「安定して分布している」と表記しましたが、誤解を生じさせる回答となっていました。

「安定して分布している」と表記したのは、両者の値が一定の値に近づく状態を指しているものです。その判断は、本書別紙「II. 附属書に関する気付き事項」の「9. 附属書 I (参考) 濃度比を用いる場合の計算例 ②j)」の「<放射化計算の充足数として、40 点で良いのか>について」の回答と同様に、統計値の安定性で評価します。すなわち、附属書の図 K. 5 に示しますように、統計値安定後の濃度の平均値と 95%信頼上限値がほとんど変化しない状態になっていることを視覚的に確認することで判断しています。定量的には、計算の数量が 30 以上になる段階から各々の値の変化が 10%以内に安定してくることから、このケースでは、10%が定量的な基準と判断できると考えます。

上記の説明は、放射能濃度の平均値を例にしたものであり、最大放射能濃度への適用性については触れていない。放射能濃度の平均値の場合と最大放射能濃度の場合に分けて記載を充実することが望まれる。

④ 「D. 2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」

- a) 「D. 2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」には、点推定法について、「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」とあり、解説の「3 適用範囲」には、廃棄体の放射能濃度に係る技術基準の「最大放射能濃度を超えないこと」を満足していることを確認することを目的としている旨の記載がある。点推定法の代表的な値を「平均値」としている理由について、日本原子力学会は次のように説明している¹¹²。

標準の「3 適用範囲」の詳細を示しています解説の「3 適用範囲」に、「第二種埋設事業規則の第八条第 2 項第二号^注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」と示しております。

¹¹² 第 3 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 3-1 回答 5

また、「附属書 M (参考) 廃棄体中の放射能濃度の確認に対する基本的な考え方」の表 M.1(下記参照)に示しますように、標準においては、先に示しました廃棄体の「最大放射能濃度」(保守的な値を代表値とする)だけでなく、埋設する廃棄体の「埋設総放射エネルギー」(すなわち、平均放射能濃度(平均値を代表値とする)×総廃棄体重量)を評価するための入力条件として、「平均値」に関しても、もう一つの代表的な値としております。

表 M.1—第二種廃棄物埋設規則上の廃棄体中の放射能濃度に係る基準

基準項目	最大放射能濃度	埋設総放射能
埋設規則条項	第八条第2項第二号 ^{注記}	第六条第1項第一号
確認対象	廃棄体	廃棄物埋設施設
対象範囲	廃棄体ごと	埋設された放射性廃棄物全体
確認内容	放射能濃度が申請書等に記載した最大放射能濃度を超えないこと。	埋設を行うことによって、廃棄物埋設施設を設置した事業所に埋設された放射性廃棄物に含まれる放射性物質の種類ごとの放射能の総量が申請書等に記載した放射性物質の種類ごとの総放射能を超えないこと。
要求される条件	廃棄体ごとのばらつき ^{a)} の考慮(又は保守性 ^{a)})	廃棄体全体(平均値)としての妥当性(又は保守性 ^{a)})
注^{a)} 放射能濃度評価結果が大きな値をとるような安全裕度の考慮。		

注記 現在、第二種埋設事業規則が改正され、第八条第2項第三号となっている。

最大放射能濃度を求める場合と埋設総放射エネルギーを求める場合とで「代表的な値」の意味が異なるとしていることから、最大放射能濃度を求める場合と埋設総放射エネルギーを求める場合とに区分した文章とすることにより適切な表現の規定とすることが望まれる。

- b) 「D.2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」において引用する「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」(別添1参照)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、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」とされている。「最大放射能濃度を超えないこと」とした場合に必ずしも「保守的な条件」としなくてよい理由について、日本原子力学会は次のように説明している¹¹³。

標準は、最大放射能濃度及び総放射エネルギーの評価を対象としており、「代表的な条件」(保守的な条件での最大放射能濃度の評価)、または「ランダムサンプリング」(放射能濃度分布などの評価)を適用することによって、これら进行评估します。

この「ランダムサンプリング」は、評価対象の全体を網羅する条件範囲からランダムに入力データの抽出を行って入力条件を設定しますので、その計算結果が示

¹¹³ 第3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3-1 回答6(1)

す放射能濃度の分布（分布から平均値、最大値が評価可能）、又は濃度比の分布（分布から平均値、最大値が評価可能で、スクリーニングレベルのような制限の考え方も適用可能）を使用することによって、廃棄体の最大放射能濃度を評価することが可能です。

評価対象となる放射化金属等を網羅する条件範囲からランダムサンプリングを行うことで、廃棄物全体の放射能濃度の分布を求めることができ、当該分布から最大放射能濃度を評価することが可能とするものである。ただし、評価対象となる放射化金属等に対応したランダムサンプリングの条件範囲の設定については、根拠をもって説明できることが必要であり、そうでない（そうした検討ができない）場合は、むやみにランダムサンプリングを行う条件設定にすることは適切でない。その場合は、明らかに保守的と判断できる条件を設定するなどの対処が適切であることから、記載を充実することが望まれる。

- c) 「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」（別添 1 参照）において、「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及び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、日本原子力学会は次のように説明している¹¹⁴。

標準は、示しています各手法間の同等性を求めているものではありません。また、保守性を確保した評価方法とする基本的な考え方としては同等ですが、適用する保守性の取り方によっては、各手法で評価した結果は必ずしも一致するものではありません。

なお、入力条件の設定方法は、評価方法と密接に関係しますので、適用する評価方法（点推定法か区間推定法か）によって、次のような選択になります。

点推定法： 代表的な条件（保守的な条件での最大放射能濃度の評価に適用）

区間推定法： ランダムサンプリング（放射能濃度分布などの評価に適用）

日本原子力学会は、区間推定法については、「ランダムサンプリング（放射能濃度分布などの評価に適用）」であるとしている。しかし、「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」を引用している「D. 2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」の「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）」から「e) 中性子の照射時間の選択」までにおいては、ランダムサンプリングすると規定し、「図 D. 1」においてもそれぞれランダムサンプリングと記載しているが、詳細に規定している「D. 3 評価対象放射化金属等の評価位置の選択」から「D. 6 照射条件の設定」までにはランダムサンプリングの記載は見当たらない。

¹¹⁴ 第 3 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 3-1 回答 6(2)

い。「D.2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」と「D.3 評価対象放射化金属等の評価位置の選択」から「D.6 照射条件の設定」間の整合性を図ることが望まれる。

- d) 「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」（別添1 参照）の「評価位置の選択」の枠内に「評価位置の存在確率分布の設定」があるが、「D.3 評価対象放射化金属等の評価位置の選択」には記載がない。存在確率分布の設定方法について、日本原子力学会は次のように説明している¹¹⁵。

評価位置の存在確率分布の設定は、附属書 D の表 D.2(下記参照)に示しています。原子炉内での機器などの設置方向に応じて、基本的に設置方向が軸方向の場合は「一様分布」、径方向の場合は「該当部の面積比に応じた分布」で設定します。

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¹¹⁶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。

なお、原子炉内の中性子フルエンス率は、原子炉内を円筒状に見た場合、同一円周上はほぼ一定と考えることが出来ますので、軸方向に沿って、挿入されている円筒状や長尺状の機器/機材は、代表的に軸方向の分布を考慮します。（チャンネルボックスのように、原子炉内径方向のローテーションがある機器/機材は、これも考慮します）

一方、原子炉の径方向に設置した機器/機材は、径方向の半径に応じた同心円状の面積は、軸方向の長さのように一様ではなく、外側に行くほど大きくなりますので、径方向の外側に向かって行くに従って面積が増える条件を加味して、評価する照射位置の選択・設定を行う際に面積比（径に比例）を乗じることで重み付け考慮しています。

¹¹⁵ 第3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3-1 回答6(3)

¹¹⁶ 「特段の考慮」について、日本原子力学会は「強い中性子吸収体（例 制御棒）によって中性子分布の歪みが生じる位置」としている。第4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4-1「適用範囲と理論的方法の特徴」回答3での質問に対する回答

「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」に示す「存在確率分布」の設定について明確にすることが望まれる。また、「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」に示す「出現確率の分布」が同じものを指すのであれば用語を統一することが望まれる。

e) 「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」(別添1参照)で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、日本原子力学会は次のように説明している¹¹⁷。

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は、標準 6.1.3.3.2 に示します次の考え方で、データ数の充足度の評価によって安定と判断されるまでの計算回数になります。

6.1.3.3.2 区間推定法

実施した放射化計算結果の数が、放射能濃度決定のための評価データとして十分かについては、放射化計算を行った数とその放射化計算結果とが示す統計値の安定性の推移を踏まえて判断する。

なお、この考え方は、附属書Aで引用しております「ISO 16966:2013 Theoretical activation calculation method to evaluate the radioactivity of activated waste generated at nuclear reactors」に示されています次の考え方と同じです。

4.3.1 Determining the number of calculations

The number of calculations can be determined by one of two methods: (略)

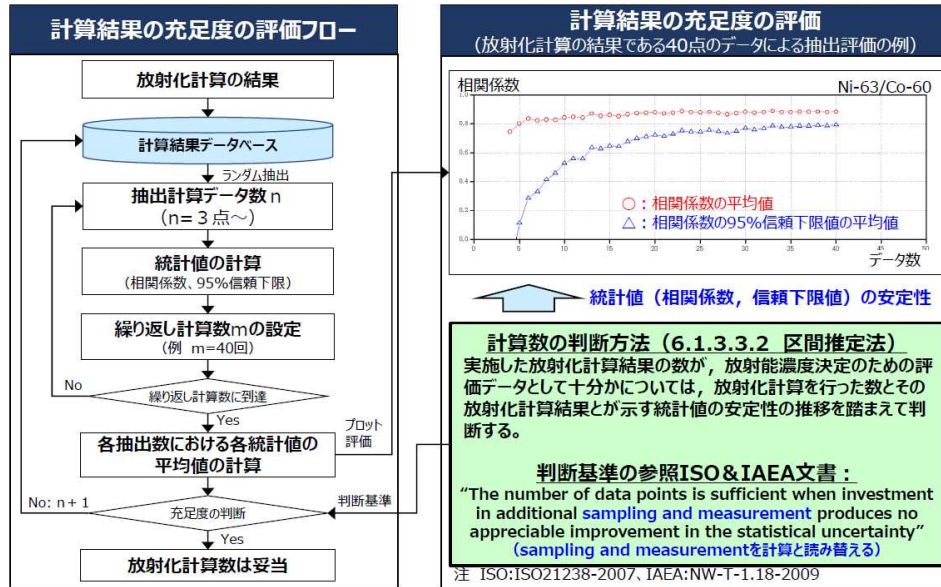
b) Range method

“When the range method is applied, the number of activation calculation results obtained should be adequate for their use as evaluation data for determining the radioactivity concentrations. Whether their number is adequate or not can be judged in consideration of the number of the activation calculations made and the changes in the stability of the statistical values obtained from these activation calculation results.”

また、具体的には、附属書Aの「A.4.3 計算の実施段階」に示しますように、統計値(下図は相関係数の例)の安定性(図A.2では平均値と95%信頼下限の差異の漸近性:これ以上計算回数を増やしてもそれによって得られる統計値はほとんど変わらない)を評価する方法で行います。

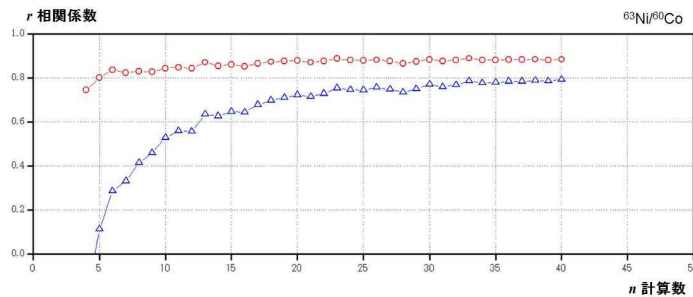
¹¹⁷ 第3回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム参考資料3-1 回答6(4)

技術要素2-2 計算の入力データの設定方法の妥当性
 -放射化計算結果の充足度の評価の例（区間推定法の場合）2 -
 BWRチャンネルボックス本体（ZrTN804D）の必要計算数の判断方法



A. 4.3 計算の実施段階 (略)

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。



凡例

-○- 相関係数の平均値 -△- 相関係数の 95%信頼下限値
 r 相関係数 n 計算数

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) の安定性のイメージ^[1]

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については、最大放射能濃度を求める場合において、相関係数の平均値と 95%信頼下限値から相関係数を決める等の定量的な判断基準を追加することが望まれる。

f) 「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」(別添 1 参照)において、「中性子フルエンス率の設定」の枠と「放射化断面積の設定」の枠の間が両矢印となっている。その意味について日本原子力学会は次のように説明して

いる¹¹⁸。

「中性子フルエンス率の設定」のボックスと「放射化断面積の設定」のボックスの間が両矢印になっていますのは、放射化計算結果である放射能濃度は中性子フルエンス率と放射化断面積（中性子スペクトル）とによって影響を受けますので、標準 6.1.2.3 b) に示しますように、相互の関係を把握した上での設定が必要なため、矢印を両方向にしているものです。

6.1.2.3 中性子条件（中略）

評価対象とする放射化金属等に対する次の中性子フルエンス率・中性子スペクトル、及び放射化断面積を設定する。

注記 詳細は、附属書 F 及び附属書 G 参照。

- a) 中性子フルエンス率・中性子スペクトル 中性子フルエンス率・中性子スペクトルは、原子炉及び燃料の配置を考慮した中性子輸送計算コードなどによって適切に評価して設定する。中性子輸送計算コードは、詳細モデルの要求レベル及び精度の要求レベルと合わせて適用することが適切である。
- b) 放射化断面積 a) の条件を考慮して、次のいずれかの方法で設定する。
 - 使用する放射化計算コードに内蔵又は附属されている放射化断面積ライブラリから選択する。このとき、最新の計算コード及び放射化断面積ライブラリを確認する。
 - 中性子フルエンス率の評価結果から、放射化範囲の中性子スペクトルの特性を考慮して放射化断面積を設定する。

6.1.2.3 b) の記載のみでは中性子フルエンス率と放射化断面積とが相互に関係しているとは読めないので記載の見直しが望まれる。

- g) 「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」（別添 1 参照）の「入力データの充足性の評価」の枠については、「A.4 妥当性確認の例」において、「なお、区間推定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、日本原子力学会は次のように説明している¹¹⁹。

入力データ数（すなわち、計算回数に相当します）の充足性を判断する方法としては、標準 6.1.3.3.2 に示します次の考え方によって判断します。

6.1.3.3.2 区間推定法

実施した放射化計算結果の数が、放射能濃度決定のための評価データとして十分かについては、放射化計算を行った数とその放射化計算結果とが示す統計値の安定性の推移を踏まえて判断する。

注記 詳細は、A.4.3 参照。

なお、具体的な判断の方法は、前記④e) の回答を参照ください。

¹¹⁸ 第3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3-1 回答6(5)

¹¹⁹ 第3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3-1 回答6(6)

「D.2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」の「h)放射化計算用の入力データの設定」の注記には、「入力データ数の充足の評価方法は、6.1.3.3 による。」と規定し、「6.1.3.3.2 区間推定法」は上記のとおり「詳細は、A.4.3 参照」としている。「A.4.3 計算の実施段階」は前述の濃度比法の Key 核種濃度と難測定核種濃度間との相関係数のことを記載しており、全ての区間推定法を対象とした記載ではない。本文と各附属書間の整合性を図ることが望まれる。

- ⑤ 「D.2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」における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、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。いずれも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。また、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」のとおりとしている。

- a) 「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」における「照射位置の出現確率」とは何か、日本原子力学会は次のように説明している¹²⁰。

評価対象とする照射位置は、附属書 D の表 D.2(前出)に示しますように、原子炉内に設置される放射化金属等の原子炉軸方向(径方向の一定位置に、軸方向の長さをもった機器/機材の場合)や径方向(原子炉の水平断面に横置き平板形状の機器/機材の場合)の位置で設定できます。

標準では、これらの機器/機材において、機器/機材中の評価する位置をランダムに選択する際に、放射化金属等全体から機器/機材中の評価位置を選択する確率を「照射位置の出現確率」と呼んでいます。

「照射位置の出現確率」は、基本的には円筒状の機器、軸方向に設置する長尺の機器に関しては、軸方向の評価位置を選択する確率は一様分布です。

一方、径方向に設置する円盤状の機器/機材に関しては、径方向の同心円状に面積の広がりを示しますので、評価位置を選択する確率は軸方向のように一様でなく、径(選択した円周の位置)に依存(径に比例)しますので、確率に関してこの面積比による重み付けを考慮して選択・設定できるようにするために、面

¹²⁰ 第3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 3-1 回答 7(1)

積比を反映します。

「照射位置の出現確率」のような特異な用語については、脚注等で説明を記載する等の工夫が望まれる。

- b) 「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「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、日本原子力学会は次のように説明している¹²¹。

第 3 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 3-1 の回答 6(3)のなお書きと同じです。

- なお、原子炉内の中性子フルエンス率は、原子炉内を円筒状に見た場合、同一円周上はほぼ一定と考えることができますので、軸方向に沿って、挿入されている円筒状や長尺状の機器／機材は、代表的に軸方向の分布を考慮します。(チャンネルボックスのように、原子炉内径方向のローテーションがある機器／機材は、これも考慮します)

上記の回答 6(3)は前記④d)において記載しているが、例えば上部格子板について原子炉の径方向を「該当部の面積比に応じた分布」とした場合に、どのような分布になるのか具体例を示して、理解しやすくすることが望まれる。

- c) 「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「評価対象とする放射化金属等の形状及び設置方向」の欄には、放射化金属等の設置方向についての記述しかない。放射化金属等の形状をどのように設定するのか、日本原子力学会は次のように説明している¹²²。

原子炉における中性子の分布を評価する中性子輸送計算においては、標準「6.1.2.3 中性子条件」(前出)に示しておりますように、原子炉及び燃料の配置、すなわち、炉内構造物の配置条件(機器／機材の形状、材質(減速))に関して、放射化金属等の形状を考慮しモデル化して設定します。

なお、放射化計算の対象とする評価位置(座標)は、放射化金属等の形状を踏まえた原子炉内の軸方向と径方向の位置で決定します。したがって、評価対象とする機器の評価位置は、軸方向の位置と径方向の位置を考慮することで、入力条件とする中性子フルエンス率を選択する位置が決定できます。

D. 3. 1 の題目は「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」

¹²¹ 第 3 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 3-1 回答 7(2)

¹²² 第 3 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 3-1 回答 7(3)

であるが、評価対象とする放射化金属等の形状についての考え方について記載がないことから、「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」の記載の見直しが望まれる。

- d) 「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、照射位置の選定については、「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」とされている。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、日本原子力学会は次のように説明している¹²³。

中性子条件の変動に関しては、原子炉内の中性子フルエンス率と中性子スペクトルの評価及び評価位置の選択の 2 つのステップによって、以下のように考慮されます。

イ) 原子炉内の中性子フルエンス率と中性子スペクトルの評価

原子炉内の軸方向及び径方向の位置ごと（軸方向 24 区分、径方向（炉心中央、最外周及び中性子の変動を与える制御棒近傍におけるコントロールセルを含む 3 区分））における中性子フルエンス率と中性子スペクトルを、検証された中性子輸送計算コードを使用した中性子輸送計算を用いて、炉内の構造条件なども踏まえて個々に評価し、原子炉内の中性子の分布をマッピングします。これによって、原子炉内における中性子フルエンス率と中性子スペクトルの変動を考慮した中性子の分布が評価できます。（（附属書 D の「D. 2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」の「f）中性子フルエンス率の設定」参照）

ロ) 放射化計算用の評価位置の選択（イで評価した中性子の分布から選択するための位置の決定）

原子炉内に設置されている放射化金属等の放射能濃度を評価するため、上記イ) でマッピングされた中性子の分布から、評価対象放射化金属等原子炉内の位置（軸方向及び径方向）を、放射化金属等の設置状態を踏まえて評価する照射位置を選択します。これによって、選択した放射能濃度を評価する位置における中性子フルエンス率と中性子スペクトルを決定することが出来ます。（附属書 D の「D. 2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」の「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）」参照）

ロ) における区間推定法の評価対象とする放射化金属等の原子炉内の軸方向及び径方向の照射位置の選択は、「D. 2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」の「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）」に

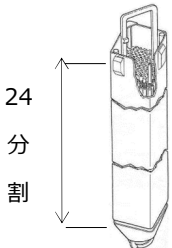
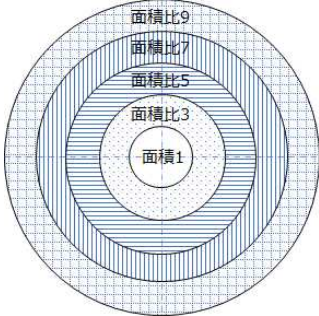
¹²³ 第 4 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム資料 4-1 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 3

示しますように、「評価対象とする位置に関する存在確率分布」から、ランダムサンプリングによって選定することで、その影響を含めた放射能濃度分布を評価します。

なお、「評価対象とする位置に関する存在確率分布」は、「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」（前出）に示しますように、評価対象物の原子炉内での軸方向、径方向の設置方向を踏まえて、設定します。

ランダムサンプリングを行うための軸方向と径方向の評価対象とする位置に関する存在確率分布は、対象とする放射化金属等の放射能濃度分布（同一体積単位で評価した放射能濃度分布）を評価するために、表 3-1 に示す分布を考慮し、この分布からランダムサンプリングを行い、評価位置を設定します。

表 3-1 評価対象とする位置に関する存在確率分布のイメージ

軸方向に設置される放射化金属等 チャンネルボックスなど	径方向に水平に設置される放射化金属等 上部格子板など
 <p>有効燃料部を 24 分割し、炉外の 1 分割を加えた 25 分割で評価する。</p>	 <p>面積比のイメージ図（平面図） （分割数はイメージのため簡易的に示したもの）</p>
軸方向の一様分布からランダム選択	同心円状の部分の面積比 ¹⁾ による存在確率の重み付けを考慮した径方向の位置をランダム選択 注 1 各面積比の数値が中心部と各部位の面積比の重み付けの値を示す。

放射化金属等の対象物の原子炉内での設置状態をモデル化し、検証された中性子輸送計算コードを用いて対象物における軸方向及び径方向の位置ごとの中性子フルエンス率及び中性子スペクトルを評価した結果を踏まえて、放射化金属等の照射位置を決定していることの説明を受けた。照射位置の設定の方法について記載を充実することが望まれる。

- e) 「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」における「評価位置」と「照射位置」との違いについて、日本原子力学会は次のように説明

している¹²⁴。

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

評価位置：評価対象物の放射能濃度を評価する位置

照射位置：中性子の照射によって照射される放射化金属等の位置

「評価位置」と「照射位置」の違いが分かるよう定義することが望まれる。

- f) 「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」は、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（シュラウド、上部格子板）については固定値としている。

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

¹²⁴ 第4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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 6

定する場合もある。

「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、日本原子力学会は次のように説明している¹²⁵。

これまでのBWRプラントの運転実績から、BWRチャンネルボックスの代表的な配置位置のパターンとして、附属書I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」に示すような配置位置のローテーションの種類があります。これを踏まえて、放射能濃度の評価結果が大きくなるように、配置位置のローテーションから中性子フルエンス率分布を考慮して、運転サイクル数ごとにローテーションを代表的な配置位置のパターンとして設定します。

また、PWR及びGCRの制御棒についても、BWRチャンネルボックスの場合と同様に配置位置のローテーションを行います。代表性の担保の考え方はBWRチャンネルボックスの場合と同様に実績を踏まえます。

運転サイクルごとにローテーションの種類に応じた代表的な配置位置が、中性子フルエンス率分布との関係で決定され、保守的な放射能濃度として評価されていることを具体的に示すなど、評価方法に対する適用例についての記載の充実が望まれる。

- g) 「代表的なパターン」とは「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¹²⁶。

附属書Dの「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」において使用しております「代表的なパターン」の「代表的」とは、次の考え方です。

最大放射能濃度の評価： 保守的に設定（放射能濃度が大きくなるように設定）

総放射能量の評価： 平均的な設定

「代表的」の意味が最大放射能濃度の評価と総放射能量の評価で異なる場合は、それが分かるような表現とすることが望まれる。

- h) 「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

¹²⁵ 第3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3-1 回答8(1)

¹²⁶ 第3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3-1 回答8(2)

え方」の各項目における「など」の内訳について、日本原子力学会は次のように説明している¹²⁷。

「ローテーションなど」には、照射期間中に使用済燃料プールにて一旦保管したのち、再度配置位置を変更して照射されることがあるもの（例えば、バーナブルポイズン）を含んでいます。

「挿入位置など」には、制御位置、全引き抜き位置を含んでいます。

「チャンネルボックスなど」には、バーナブルポイズン、プラギングデバイスが含まれます。

「PWR 制御棒、BWR 制御棒など」には、GCR 制御棒が含まれます。

「シュラウド、上部格子板など」には、核計装管、炉心槽、黒鉛ブロックが含まれます。

放射能濃度決定標準の利用者が容易に類推でき誤解をする恐れがない場合は「など」の表現も許容されると思われるが、可能な範囲で明確に記載することが望まれる。

⑥ 「D. 4 元素成分条件の設定」

- a) 日本原子力学会は、「D. 4. 1 元素成分条件の設定方式の選定」において、「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」としている。

- －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。

「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」は区間推定法のデータ設定方法を規定しものであるが、総放射能濃度を求める場合と最大放射能濃度を求める場合とでは、選択方法も異なることから、区別して記載することが望まれる。

- b) 「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」（別添 1 参照）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。その根拠について、日本原子力学会は次のように説明している¹²⁸。

標準では元素成分条件の入力データ設定用の濃度分布の評価及び設定を行うために、次のステップで評価を行います。

- イ) 分析データの収集、正規性の評価段階：分析データを収集し、附属書 D の「表 D. 4—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

¹²⁷ 第 3 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 3-1 回答 8(3)

¹²⁸ 第 3 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 3-1 回答 9

本的な考え方」の基本的考え方に示す元素の濃度分布の基本形状（正規分布又は対数正規分布）を適用して分布形状の評価（平均、標準偏差、正規性）を進める。

ロ) 入力データ設定用分布の設定段階：放射化計算用の入力データを選定するために設定する濃度分布は、収集した分析データが示す最も適切となる分布形状を確認して設定する。

したがって、微量成分元素に関しましては、製造工程中で調整などが行われていませんので、原材料中の分布形状が維持されていると考えられるものです。このため、「表 G. 13—元素の濃度分布を対数正規分布として扱う例」（別添 1 参照）に示しますように、基本的な考え方として「対数正規分布」として扱うことが適切です。製造工程中で調整などが行われな微量成分元素について、原材料中の分布形状が維持されるとの考えを採用するのであれば、評価の信頼性の向上のために、この考え方の前提についての科学的知見を文献の引用ではなく放射能濃度決定標準に直接記載することが望まれる。

c) 「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」（別添 1 参照）では、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¹²⁹。

不純物元素に関しましては管理上限値があり、酸化物としてスラグに取り込むことなどで低減させるなどの精錬を行い分布が歪む可能性があります。分布形状そのものは上限値のような点でなく、①に示しましたように、まず「対数正規分布」として、評価を進めます。

ただし、附属書 G の「G. 1. 2. 3. 2 各元素の濃度分布基本形状の設定例」に示しますように、実際に入力データとして適用する元素の濃度分布は、ロ) に示しましたように、最終的には実際のデータによって評価し、いずれの分布形状に属しているかを判断した上で設定することを求めており、「不純物元素」に関しては、元素分析によって得られた実際の分析データの範囲が狭く「正規分布」で評価することの方が適切と判断した場合は、「正規分布」を入力データ設定用分布の設定に適用します。

濃度上限が規定されている不純物元素については、裾切りありの分布形状を考慮することが望まれる。

d) 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」¹³⁰では正規分布に従うとして設定している。同説明資料には、「主成

¹²⁹ 第 3 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 3-1 回答 9

¹³⁰ 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

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。」とあり、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について、日本原子力学会は次のように説明している¹³¹。

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

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

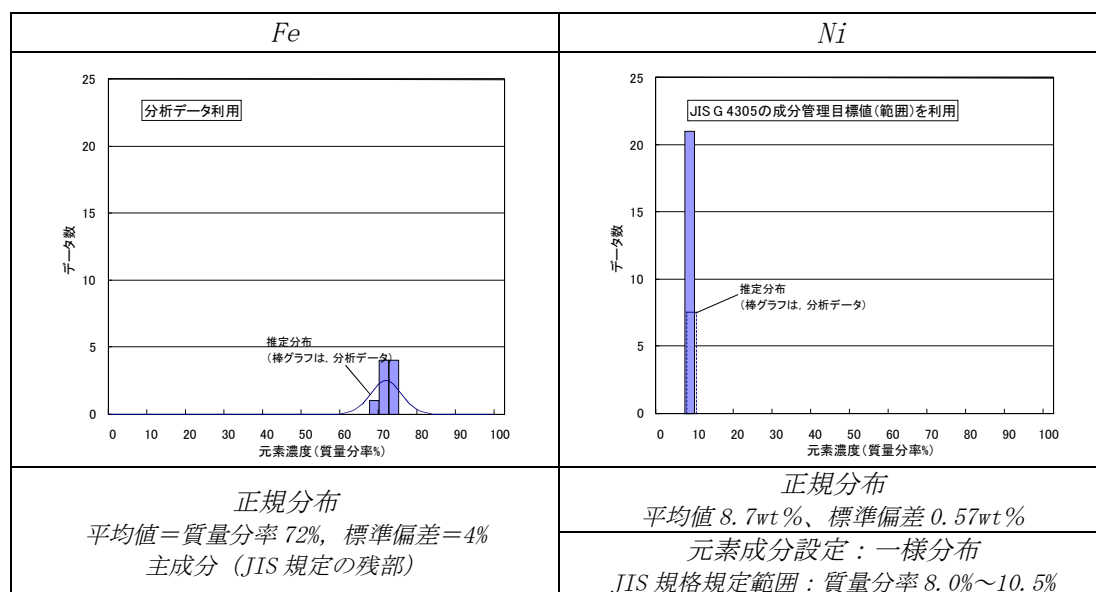


図 I. 6－SUS304 の元素分析データ及び濃度分布条件設定結果（主成分 Fe 及び Ni の抜粋）

「4. 4. 1 元素成分条件の設定方法」④において述べたように、SUS304 材料の主元素 Fe については添加元素により化学成分量の上限及び下限は制限されているので、上記図 I. 6 に示す正規分布曲線の両裾（＜約 66.2%、＞74.0%）がない分布と

¹³¹ 第 4 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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 7

なる。各元素の分布形状は対数正規分布、正規分布、一様分布等から適切なものを選択するとしても、存在を想定する微量元素を含めて、元素成分の制限値の範囲を超えないように分布を設定し、データの信頼性を確保できるように記載を見直すことが望まれる。

- e) 「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」、「比較的少ない場合」、「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、日本原子力学会は次のように説明している¹³²。

基本的な考え方は、「第2回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答」の回答14(2)（下表）を参照ください。

取得検出データ数	検出下限値のみ	非常に少ない (1, 2点の検出数)	比較的少ない (3点以上十分未満)	十分にある場合
平均値	①検出下限値で設定 ②検出下限値以下の領域で設定（下限値から2σの位置）	①検出値で設定 ②検出値以下の領域で設定（検出値から2σの位置）	平均値の信頼上限で設定	得られた検出データの平均値で設定
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。

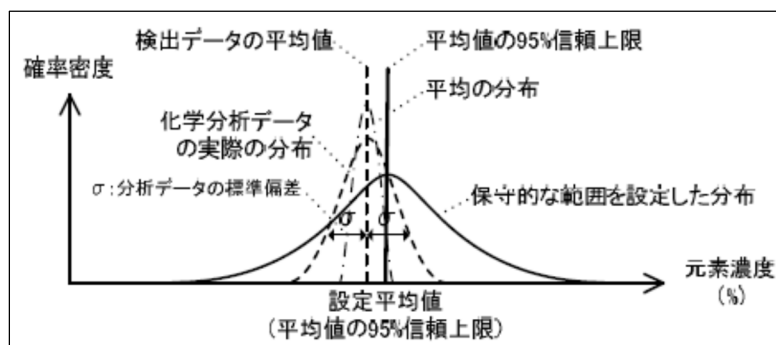
なお、標準では定量的な数値は示しておりませんが、「十分にある場合」のデータ数は、元素によっても異なると考えられますが、分布が安定するデータ数として概ね数十点程度と考えます。

上記⑥k)の回答を踏まえて、「比較的少ない」場合を3点以上十分未満としていることについては、明確にすることが望まれる。

- f) 「D. 4. 3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定」の「b) 元素分析データ数が比較的少ない場合」において、「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

¹³² 第3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3-1 回答11

設定した分布」が示されているが、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、日本原子力学会は次のように説明している¹³³。



例 元素分析データ数が比較的小さ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。

理論的方法	元素成分条件 (本文 6. 1. 2. 2)
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、保守性（信頼上限値の適用など）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)	入力用設定分布からのランダムサンプリング ・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。

例示の図は両裾の遠い部分にも元素データが分布したものとなっているが、材料の規格制限値を考慮した分布におけるランダムサンプリングの方法について明確にすることが望まれる。

g) 「D. 4. 3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定」の「c) 元素分析データ数

¹³³ 第4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 4-2-1 回答 13

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、日本原子力学会は次のように説明している¹³⁴。

- － 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。

標準は、元素成分の濃度分布を設定する各手法間に同等性を求めているものではありません。また、上記の2つの設定方法は、いずれも真値に対して、保守的な評価結果を得るための方法です。このため、適用する濃度分布の設定方法によって保守性が変わります。

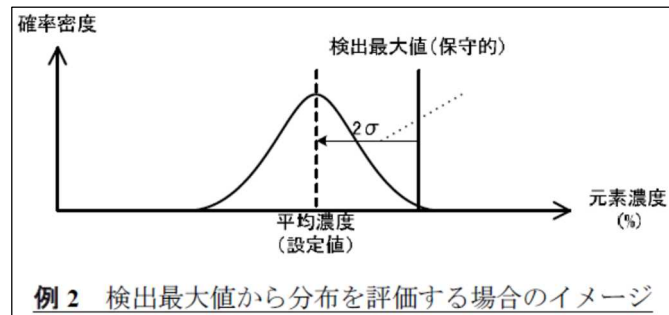
したがって、適用する入力条件の設定方法によって保守性の考え方が異なりますので、評価結果は、設定方法①>設定方法②となります。

<p>設定方法① 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 (表 D. 5 の例 1)</p>	
<p>設定方法② 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。 (表 D. 5 の例 2 に実際の分布を加筆)</p>	

設定方法①は検出した場合、設定方法②は検出限界以下の場合であるので、最大放射能濃度を求める場合と総放射能濃度を求める場合に区別して、使い分けを明確にすることが望まれる。なお、検出値から求める分布形状の推定においては、規格上の制限値があることは上述のとおりである。

- h) 「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」(別添 1 参照) 中の図「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。

¹³⁴ 第 3 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 3-1 回答 10



この方法が適用できるのは、検出下限値（以下「ND 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次のように説明している¹³⁵。

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、「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」（別添 1 参照）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—元素の濃度分布を対数正規分布として扱う例」（別添 1 参照）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。

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については、考え方を整理することが望まれる。

- i) 「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」（別添 1 参照）の方法では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がある。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つが、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、日本原子力学会は次のように説明している¹³⁶。

検出限界値以下の濃度領域で検出できない元素濃度分布を設定して評価する場

¹³⁵ 第 4 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 4-2-1 回答 14(1)

¹³⁶ 第 4 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 4-2-1 更問 14(1) への回答②

合に、その濃度分布の領域を把握するために、必要と考えられる化学分析数につきましては、標準には示しておりませんが、例えば、表 14(1)-1 に示します考え方が適用できるものと考えます。

表 14(1)-1 検出下限値を含む分析における必要データ数

前提条件	確率的に設定する。
検出できない濃度分布などの設定の模式図	
必要データ数の設定の考え方	上図のように、検出下限の値（検出できない濃度分布の平均+標準偏差 $N\sigma$ ^{注1} の位置）を超える領域にある数量（例えば、平均値+ $N\sigma$ 超となる領域での分析データ数が 1 点と仮定）から母集団の数量を正規確率（例 2σ を超える確率：2.3%）によって評価する。
必要データ数の評価結果 ^{注3}	推定する平均値の位置を検出下限値から 1σ の位置とする場合： 7 点 推定する平均値の位置を検出下限値から 2σ の位置とする場合： 44 点

注 1：「 $N\sigma$ 」とは、標準偏差の 1σ 、 2σ 、 3σ の数値の意味 ($N=1, 2, 3$)

注 2：「推定する平均値の位置」とは、検出下限から低い濃度領域で分布を設定する際に適用する検出下限から $N\sigma$ の標準偏差を加味した位置で決定する平均値の意味。

注 3：具体的には、検出下限値を超えるデータ数が 1 点未満となる条件を想定し、推定する平均値の位置を検出下限値から 1σ の位置とする場合：正規分布で検出下限値を超えるデータ数が最少の 1 点未満となるためには、分布の平均値から $\pm 1\sigma$ (68.3%) の範囲の上側（検出下限値を超える）にある領域のデータの存在確率（上側領域の存在確率は 15.8%以下とする）である条件で考えると、総データ数は 7 点(6.3 点以上)が必要である。

推定する平均値の位置を検出下限値から 2σ の位置とする場合：正規分布で検出下限値を超えるデータ数が最少の 1 点未満となるためには、分布の平均値から $\pm 2\sigma$ (95.4%) の範囲の上側（検出下限値を超える）にある領域のデータの存在確率（上側領域の存在確率は 2.3%以下とする）である条件で考えると、総データ数は 44 点(43.5 点以上)が必要である。

検出下限が含まれる場合の総データ数については、その考え方を明確にすることが望まれる。

- j) 「D. 4.3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定」において、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する。対象となる放射化生成物の放射能、放射化断面積及び照射条件から逆算し、起源元素をどの程度の濃度レベルで評価するべきかを明らかにした上で、その値に対してどの程度の検出下限値を目標とするかによっても扱いが変わると考えられる。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、日本原子力学会は次の

ように説明している¹³⁷。

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

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

【JIS の分析法の例】

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

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

検出技術の進歩により、昔は検出限界以下だったものが検出可能になることが想定される。年代の古い文献等における検出下限値は参考にはできるものの、データの信頼性を高める観点から最新の分析技術に基づく方法を採用することが望まれる。

- k) 「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」（別添 1 参照）において、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¹³⁸。

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、「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」及び「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」（別添 1 参照）に記載する「同一の元素又は化学的性質が類似した元素の分布

¹³⁷ 第 4 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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 8(2)

¹³⁸ 第 4 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 4-2-1 回答 14(2)

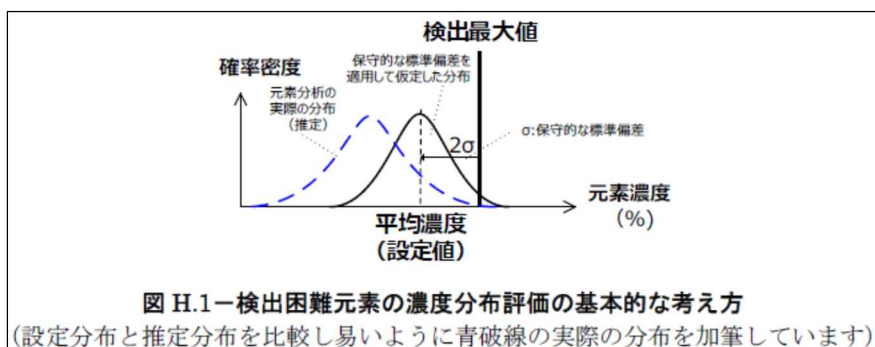
を参考にした標準偏差」で設定する方法を適用します。

(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。

これを用いた濃度分布の設定は、下図に示すとおり、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な“平均値”、“標準偏差 σ ”を元素分析によって得られたデータ数量に応じて保守性を加味して設定する考え方を、下表のように示しています。

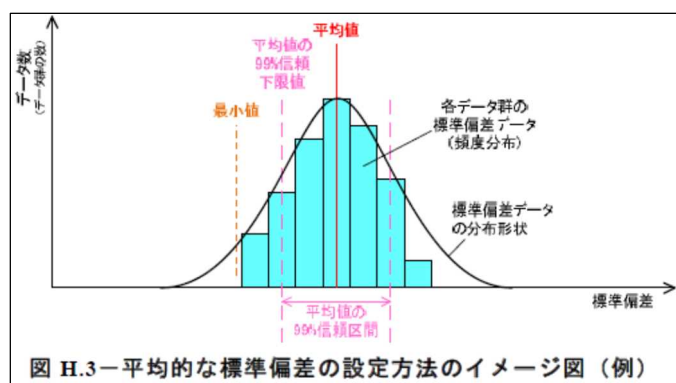
取得検出データ数	検出下限値のみ	非常に少ない (1, 2点の検出数)	比較的少ない (3点以上十分未満)	十分にある場合
平均値	①検出下限値で設定 ②検出下限値以下の領域で設定(下限値から2 σ の位置)	①検出値で設定 ②検出値以下の領域で設定(検出値から2 σ の位置)	平均値の信頼上限で設定	得られた検出データの平均値で設定
標準偏差の適用の考え方	①— ②同一の元素又は化学的性質が類似した元素の分布を踏まえて設定(信頼下限)	①同一の元素又は化学的性質が類似した元素の分布を参考にして設定(信頼上限) ②同左	得られた検出データの標準偏差の信頼上限で設定	得られた検出データの標準偏差で設定

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—平均的な標準偏差の設定方法のイメージ図(例)」(下図)及び「表H.1—検出困難元素の平均的な標準偏差の設定方法の例」(略：標準偏差の設定方法として、平均値、99%信頼下限値及び最小値を記載)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。



注記 上記の標準偏差の分布は、文献などから収集した検出された元素濃度データをデータ群(産地及び種類ごとに分類した元素濃度データのグループ)として分類し、各々のデータ群(例 C1 では 168 のデータ群、1 群は複数のデータを含む)で標準偏差を計算した結果をヒストグラムで表示するイメージを示す。

検出技術の進歩により、過去に検出限界以下だったものが、その後検出可能になることが想定される。年代の古い文献等における標準偏差の値も変わることが予想されることから、さらに検討することが望まれる。

- 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」の「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¹³⁹。

— 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。

¹³⁹ 第3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3-1 回答12

- － 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。

標準は、各手法間に同等性を求めているものではありません。

附属書DのD.4.3の「d) 元素分析データに検出下限値しかない場合」に示します3つの設定方法は、いずれも真値に対して、保守的な評価結果を得るための方法です。このため、適用する方法によって保守性の考え方が変わります。

したがって、入力条件の設定方法としての採用する保守性の考え方が異なりますので、評価結果は、基本的に設定方法①>設定方法②>設定方法③となります。

設定方法① 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

設定方法② 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

設定方法③ 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

設定方法①、②及び③については、最大放射能濃度を求める場合と総放射能濃度を求める場合に区別して、使い分けを明確にすることが望まれる。

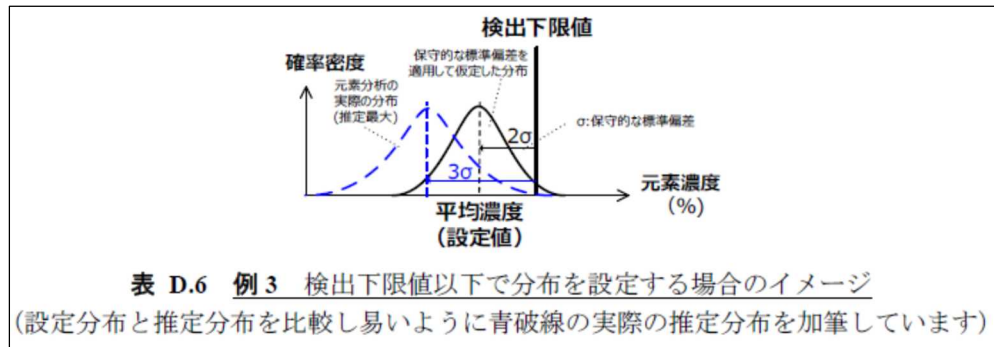
- m) 「表 D.6—元素分析データに検出下限値しかない元素の濃度分布条件設定方法」(別添1参照)において、推定分布の平均濃度(設定値)をND値の -2σ に設定している。この方法が適用できるのは、N.D.値のデータ数が十分にある場合と想定されるが、そのデータ数について、日本原子力学会は、表D.5(別添1参照)の「ND値の -2σ 」と同じ理由であると説明している¹⁴⁰。

ND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、次のように説明している¹⁴¹。

検出下限値をそのまま平均濃度として用いる方法が、第1の適用方法として考えられますが、この方法を適用した場合で、保守性が大きくなりすぎる時は、本項の⑥k)の回答に示す考え方を適用して、下図に示しますように、検出下限値より低い領域にある濃度分布を想定し、保守的に検出下限値より 2σ 低い値を平均濃度として用いる方法を示しています。

¹⁴⁰ 第4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4-2-1 回答15(1)

¹⁴¹ 第4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4-2-1 回答15(2)



上図に示す推定される実際の分布（青破線）より高い濃度領域に入力用設定分布（黒実線）を仮定して、この分布に保守性を持たせるために、平均濃度の設定位置（通常、正規分布を示す場合は検出下限値から 3σ の位置に平均濃度があると想定されます）を、検出下限値から 2σ の位置を平均値としてより高い濃度側に分布を設定することとしています。

さらに、適用する“標準偏差 σ ”も保守性を持たせるように、分布範囲を狭く設定するために、標準偏差の信頼下限値を適用する考え方を示しています。これらによって、上側にスライドすることでの保守性を加味しています。

「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」とのことであるが、その場合標準偏差 σ はどのように算出するのか、日本原子力学会は次のように回答している¹⁴²。

元素分析データに検出下限値しかない元素の濃度分布条件のうち、標準偏差は、実施したサンプリング分析の結果からでは、標準偏差を設定することができません。

このため、本項⑥k)の回答に示しましたように、「同一の元素又は化学的性質が類似した元素の分布を参考にした標準偏差」で設定する方法を適用します。

なお、検出下限値しかない元素の実際の元素濃度分布は、検出下限値以下の濃度領域で分布しておりますので、検出下限値を平均値として設定する保守的な方法だけでなく、真の分布に近い分布（上記に示しました表 D.6 例3のイメージを参照ください）での評価を行うことが可能であると考えています。

このため、検出値が得られなかった場合は、少なくとも平均値は検出下限値より低くなるはずで、かつ、確率分布に正規分布を仮定すれば、最も高い領域での分布は、検出下限値から 3σ 低い値を平均濃度とする分布と考えられます。

したがって、全てNDであれば、平均値は検出下限より 3σ 以上低いと統計的に推定できます。

しかしながら、平均値の設定に保守性を加える形で 3σ でなく余裕を見て 2σ を適用したものです。

¹⁴² 第4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4-2-1 更問15(2)への回答

なお、分布の設定に必要なデータ数については、標準では濃度分布の設定方法は、附属書 D の表 D.6 に示しますように、分析数に応じた保守性を考慮することにしており、この分析数に関しては、更問への回答 14(1)② (本項の i)) を参照ください。

(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。

(分布の設定に必要な分析数について)

標準では、濃度分布の設定方法は、附属書 D の表 D.6 に示しますように、分析数に応じた保守性を考慮することにしております。

この分析数に関しては、更問への回答 14(1)② (本項の i)) を参照ください。

分析結果がいずれも検出下限値以下の場合に、当該元素の平均濃度を検出下限値の -2σ と想定する考え方であるが、標準偏差 σ の設定は分析数に応じるとするのは、分析数が多いほど平均値のばらつきが小さくなり平均値が検出下限値に近づくという逆転現象が生ずる。放射能濃度の算出に適切な保守性は必要であるが過度な保守性は必要ないことから、標準偏差 σ の設定方法については更に検討することが望まれる。

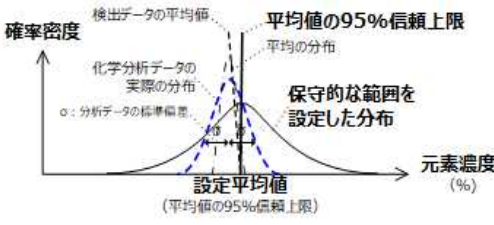
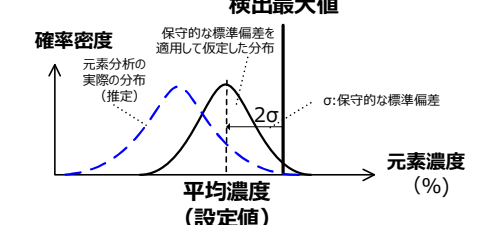
n) 附属書 H についても「図 H.1-1 検出困難元素の濃度分布評価の基本的な考え方」において、濃度分布の標準偏差 σ として、「同一の元素又は化学的性質が類似した元素の分布を評価して適用」とある。その具体的な求め方について日本原子力学会は、本項⑥k)の回答と同じ理由であると説明している¹⁴³。

o) 「D.4.3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定」における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、及びその根拠について、日本原子力学会は次のとおり説明している¹⁴⁴。

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

¹⁴³ 第4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 4-2-1 回答 15(3)

¹⁴⁴ 第4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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 8(1)

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

上記表中において、「データが比較的少ない場合」は「95%信頼上限値」、「データが非常に少ない場合」は「95%信頼下限値」を適用としている。「D.4.3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定」の a)～d)における元素分析データ数の多寡による信頼上限の採り方については、整合性のある記載にするとともに根拠を明確にすることが望まれる。

⑦ 「D.5 中性条件の設定」

- a) 「D.5.1 中性子条件の設定における基本事項」には、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」に大別しており、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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁴⁵。

中性子スペクトルの設定における基本的な考慮事項としては、附属書 G の「G.2 中性子条件の設定例」の「G2.1 概要」に示しますように、附属書 D の「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」(別添 1 参照) となります。

中性子スペクトルの設定における基本的な考慮事項は、「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」には見当たらないことから、記載することが望まれる。

- b) 「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¹⁴⁶。

¹⁴⁵ 第 3 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 3-1 回答 13(4)

¹⁴⁶ 第 3 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 3-1 回答 13(1)

群定数は、評価済核データ（JENDL など）を基に、連続エネルギーの核反応断面積をエネルギー区間ごとに平均化群数分け（離散化）して整備された断面積で、中性子・光子の輸送計算をする際に利用します。例えば、JENDL-4.0 の群定数に中性子 199 群、光子 42 群にて整備された MATXS-LIB-J40 があります。

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

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

$$\sigma_1 = \frac{\sum g \sigma \cdot \Phi}{\sum g \Phi}$$

σ_1 : 1 群実効核反応断面積

σ : 核反応断面積

Φ : 中性子フルエンス率

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

「群定数」及び「1 群実効断面積」のような専門用語は、説明を追加することが望まれる。

- c) 「D.5.1 中性子条件の設定における基本事項」第 2 段落の「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。」の意味について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁴⁷。

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

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

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

ORIGEN コード又は ORIGEN2 コードを前提とした記載になっているが、解析コード

¹⁴⁷ 第 4 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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」回答 9(1)

はそれに限定されるものでもないので、汎用性を考慮して信頼性が確認されたコードの適用とするなど記載の工夫が望まれる。

- d) 「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」(別添 1 参照) の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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁴⁸。

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¹⁾であり、また、各種実験データに基づくベンチマーク解析によって臨界や遮蔽(中性子、ガンマ線)の観点でバージョン間の比較を含めて検証²⁾された信頼性の高いものであることから、どれも使用することは可能と考えます。

注 1) https://wwwndc.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://wwwndc.jaea.go.jp/ftpnd/jendl/jendl-ad-2017/jendl-ad-](https://wwwndc.jaea.go.jp/ftpnd/jendl/jendl-ad-2017/jendl-ad-2017.html)

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

¹⁴⁸ 第 4 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 4-2-1 回答 12

網羅する放射化断面積データベース)

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の評価例及び差がある場合は放射能濃度にどのように考慮するのかについて、日本原子力学会は次のように回答している¹⁴⁹。

現状、ライブラリの違いによる放射能濃度への影響の評価データはありませんが、放射化断面積の値の差異により概ね評価結果の差異を推定できます。放射化断面積の差異を確認した例を以下に示します。

放射化計算の核データライブラリについて、JEDNL-3.2, JENDL-3.3, JENDL-4.0を基に日本原子力研究開発機構にて整備され公開されている ORLIBJ32, ORLIBJ33, ORLIBJ40 の同一のスペクトルで 1 群に縮約された放射化断面積の値の比をとった例を以下に示します。BS200, BS270 は BWR の炉心条件、PWR34, PWR47 は PWR の炉心条件のスペクトルで縮約された放射化断面積です。

下表の例において、ORLIBJ32, ORLIBJ33, ORLIBJ40 の放射化断面積の値の比較においては、C1-36 の例では ORLIBJ32 に対する ORLIBJ40 の値は 0.95~1.30 倍、ORLIBJ33 に対する ORLIBJ40 の値は 0.74~1.53 倍のばらつきがあります。C1-36 の例では旧ライブラリに対する新ライブラリの断面積の値は 0.74~1.53 倍の影響があることが確認され、断面積と比例関係(※1)にある放射能濃度への影響の程度もおおよそ同程度と推測されます。

なお、表中では核データライブラリの比較により旧ライブラリに対する新ライブラリの断面積の比が 2~3 倍程度以内に収まっていることから大幅な差異はない(※2)と考えられますが、もし旧版を使用する場合は、最新の核データライブラリに対する旧版の不確かさを確認した上で、大幅な差異がある場合にはそれを包含するように放射能濃度の評価値に補正する方法が考えられます。

生成核種	主な生成反応*	ORLIBJ40/ORLIBJ32				ORLIBJ40/ORLIBJ33			
		BS200	BS270	PWR34	PWR47	BS200	BS270	PWR34	PWR47
C-14	N-14(n, p)	1.38	1.12	1.04	1.10	1.34	1.08	1.00	1.06
C1-36	C1-35(n, γ)	1.30	1.03	0.95	1.01	1.53	0.78	0.87	0.74
Co-60	Co-59(n, γ)	1.22	1.05	1.00	1.04	1.22	1.05	1.00	1.04
Ni-63	Ni-62(n, γ)	1.29	1.03	0.95	1.02	1.29	1.03	0.95	1.02
Nb-94	Nb-93(n, γ)	0.41	0.39	0.38	0.38	0.41	0.39	0.38	0.39
Tc-99	Mo-98(n, γ)	1.04	1.07	1.07	1.07	1.05	1.07	1.08	1.07

*: アイソトープ手帳12版(公益社団法人 日本アイソトープ協会)より

(※1) 放射能濃度が断面積と比例関係にあるとは、放射化の計算式は以下に示すとおりであり、断面積(σ)と放射能(A)は比例関係となります。

放射化計算式(⁶⁰Co の例)

$$A = N_0 \sigma \phi \{ 1 - \exp(-\lambda T_1) \}$$

¹⁴⁹ 第4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 4-2-1 更問 12 への回答

A : 放射化核種 (^{60}Co) の放射能 (Bq)
 N_0 : ターゲット核種 (^{59}Co) の個数 (atoms)
 σ : 中性子による ^{59}Co の (n, γ) 反応断面積 (cm^2)
 ϕ : 照射中性子束 ($n/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$)
 λ : ^{60}Co の崩壊定数 ($3.6001 \times 10^{-4}/\text{日}$)
 T_1 : 照射日数 (日)

(※2) 大幅な差異がないとは、図 B.4「放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果 (放射化断面積の影響)」の脚注 b) に示すように、放射能濃度への影響が 2~3 倍程度以内の場合は影響が小さく、大幅な差異はないとしています。

技術進展に伴う核データライブラリの更新は今後も継続すると想定されることから、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の評価例及び差がある場合の放射能濃度への考慮事項を明確にすることが望まれる。

- f) 「D.5.1 中性子条件の設定における基本事項」第2段落の「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。」とあり、その具体的な方法について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁵⁰。

「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。」については、ORIGEN2 コードシリーズの手順です。ORIGEN2 コードシリーズについては、原子炉内で照射される放射化金属等 (制御棒、バーナブルポイズン棒などの運転中廃棄物) に対しては、原子炉内の燃料領域のスペクトルで縮約された既存の 1 群実効断面積ライブラリ (ORLIB-J40 など) が使用できますが、燃料領域以外など中性子スペクトルが異なる位置の放射化金属等 (バッフルなどの解体廃棄物) に対しては、当該位置の中性子スペクトルを反映した 1 群縮約断面積を準備する必要があります。断面積の作成フローを下図に示します。

¹⁵⁰ 第3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 3-1 回答 13(2)

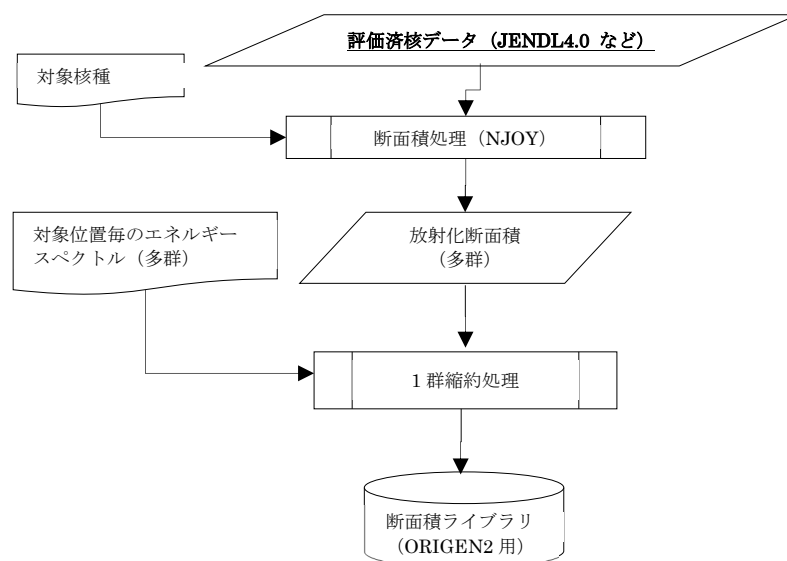


図 1 群実効核反応断面積ライブラリの作成フロー

また、「D. 5.1 中性子条件の設定における基本事項」第 2 段落における「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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁵¹。

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

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

専門用語については放射能濃度決定標準内で明確にする工夫が望まれる。

- g) 「D. 5.1 中性子条件の設定における基本事項」の第 3 段落に「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に影響は、小さいと考えられる」との記載がある。これに関連して、放射能濃度決定標準が対象とする 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、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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁵²。

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

¹⁵¹ 第 4 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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 9(2)

¹⁵² 第 4 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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 10(1)

します。

なお、「附属書 F (参考) 放射化計算を行う場合の計算例」では妥当性が確認された例として、BWR チャンネルボックスの例の ENDF/B-VI、PWR 制御棒の例の RNAL*、GCR 黒鉛減速材の例の JENDL-3 を記載しております。

*: RNAL (Reference Neutron Activation Library) は IAEA から公開されている評価済核データ

(URL: <https://www-nds.iaea.org/public/rnal/www/>)

また、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 を公開しており、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る。放射化評価において JENDL/AD-2017 をどのように取り扱うのかについて、日本原子力学会は次のように説明している¹⁵³。

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

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

放射化断面積ライブラリについては、中性子スペクトルを考慮した断面積に関して、ベンチマークにより妥当性を確認されたものを選択することを明確にすることが望まれる。

- h) 「D.5.1 中性子条件の設定における基本事項」末尾の「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。」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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁵⁴。

「既存の断面積ライブラリを使用する場合には、原子炉型式や燃料組成が類似してれば・・・」の部分については、既存の 1 群実効断面積が用意されている ORIGEN2 コードシリーズについて記載しているため、1 群実効断面積のみの記載としています。

ORIGEN2 コードシリーズにおいては、既存の 1 群実効断面積ライブラリの使用の際には、原子炉型式や燃料組成が類似していれば、原子炉内で照射される放射

¹⁵³ 第 4 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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 10(2)

¹⁵⁴ 第 3 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 3-1 回答 13(3)

化金属等（制御棒、バーナブルポイズン棒などの運転中廃棄物）に対して使用可能です。

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

ORIGEN2 コードを前提とした記載になっているが、解析コードはそれに限定されるものでもないので、汎用性を考慮して信頼性が確認されたコードの適用を前提とした要件を記載し、ORIGEN2 コードを適用した場合を付記する等記載の工夫が望まれる。

i) 「D. 5. 2 中性子フルエンス率などの設定方法」では、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とし、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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁵⁵。

中性子フルエンス率及びスペクトルは、個別に条件設定する方法又は代表条件を設定する方法の2つの方法があります。その設定方法については、照射履歴に基づき、以下のとおり判断し設定します。

個別設定：照射履歴が特定できるすべての評価対象について、評価対象ごとに個別の中性子フルエンス率及びスペクトルを設定する。

代表設定：複数の照射履歴をもつ同種の評価対象（例 CB、BP、制御棒、黒鉛ブロック）について、説明性のある範囲で複数の評価対象を適切に（平均的に）又は放射能濃度が大きくなるよう代表する中性子フルエンス率及びスペクトルを設定する。

代表条件を設定する方法は、複数の照射履歴をもつ同種の評価対象がある場合などを想定していることが明確になるよう記載を工夫することが望まれる。

j) 「D. 5. 2 中性子フルエンス率などの設定方法」の「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」とあり、その「適切に代表する中性子条件」について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁵⁶。

「適切に代表する中性子条件」を設定する方法とは、本項⑤f) に示しましたように、放射能濃度評価結果が大きくなるように代表設定する中性子条件、配置位置のローテーションから中性子フルエンス率分布を考慮して、運転サイクル数ごとにローテーションを代表的な配置位置のパターンとして設定して代表的な

¹⁵⁵ 第3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3-1 回答14(2)及び回答15

¹⁵⁶ 第3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3-1 回答14(1)

複数の中性子条件を設定する方法です。

「適切に代表する」という意味について具体的に記載することが望まれる。

- k) 「D. 5. 2 中性子フルエンス率などの設定方法」の「b)代表条件を設定する方法」第3段落において、「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。」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について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁵⁷。

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

特定の放射化計算コードに限定した記述においては、その旨を明確にすることが望まれる。

- l) 「D. 5. 2 中性子フルエンス率などの設定方法」の「b)代表条件を設定する方法」第3段落における「炉心核的性能計算」の具体的な方法について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁵⁸。

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

専門用語については放射能濃度決定標準内で明確にする工夫が望まれる。

- m) 「D. 5. 2 中性子フルエンス率などの設定方法」の「b)代表条件を設定する方法」第3段落における「炉心核的性能計算」と「ボルツマンの中性子輸送方程式」との違いについて、日本原子力学会は次のように説明している¹⁵⁹。

炉心核的性能計算の単位燃料集合体核特性計算コードは計算手法のため、ボルツマンの中性子輸送方程式に基づいて核特性計算し、出力分布・ボイド率分布

¹⁵⁷ 第3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3-1 回答14(4)

¹⁵⁸ 第4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4-2-2「適用範囲と理論的方法の特徴」回答11(2)

¹⁵⁹ 第4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4-2-2「適用範囲と理論的方法の特徴」回答11(3)

によって補正して、放射化計算のための中性子フルエンス率・中性子スペクトルを求めます。

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

「D. 5. 2 中性子フルエンス率などの設定方法」の「b)代表条件を設定する方法」第3段落の記載と上記回答は整合していないことから見直すことが望まれる。

n) 「D. 5. 2 中性子フルエンス率などの設定方法」の「b)代表条件を設定する方法」に記載(下記)する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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁶⁰。

- ・ 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

標準では、適用する中性子計算方法に関して、同等性を求めているものではありません。ただし、それぞれの計算方法において、保守性を考慮した評価条件によって計算することで、保守的な計算結果が得られます。その観点において同等性があります。

主に使用することを想定しています中性子輸送計算方法は、以下のとおりです。なお、外挿計算法及びアルベド輸送計算法は他の計算結果から補正する方法であるため、「加えて」と表現しています。

- ・ Sn法 (微分型中性子輸送方程式)

計算体系を表示する座標と放射線粒子の進行方向を表す角度座標を離散化して、偏微分型のボルツマン輸送方程式を解く方法のうち、最も一般的な計算手法です。

- ・ モンテカルロ法

積分型ボルツマン輸送方程式を解く方法であり、発生させた乱数列を用いて、確率分布にしたがって線源から粒子を放出し、輸送カーネル及び衝突カーネルの計算を行うことで放射線束を求める方法です。

- ・ 直接積分法

ボルツマン方程式を放射線の進行方向に沿って直接積分してメッシュごと

¹⁶⁰ 第3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 3-1 回答 14(3)

に粒子束を評価するものです。

- ・ 外挿計算法

他の計算結果から外挿して補正する計算方法です。

- ・ アルベド輸送計算法

他の計算結果からアルベドデータで補正する計算方法です。

中性子輸送計算方法については、単に列記するのではなく、各方法の特徴と注意点を記載するなど、適切なものを選択するための情報を記載することが望まれる。

- o) D. 5.2 中性子フルエンス率などの設定方法」の「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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁶¹。

PHITS を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。

また、PHITS と MCNP の違いを踏まえた中性子輸送計算の設定上考慮すべき事項について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁶²。

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

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

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

中性子輸送計算の設定上考慮すべき事項については明確にすることが望まれる。

- p) 「D. 5.2 中性子フルエンス率などの設定方法」に関連して、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る。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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁶³。

本標準において対象とする放射化対象物は炉内にて発生します。炉内の核計

¹⁶¹ 第4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 4-2-1 回答 16

¹⁶² 第4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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 11(5)

¹⁶³ 第4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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 11(4)

装用の中性子検出器には超小型の核分裂電離箱が用いられ、原子炉出力状態における炉心内の出力分布や中性子フルエンス率分布が計測できることから、計算による中性子フルエンス率分布の確認のため利用することは可能と考えます。

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

中性子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を明確にすることが望まれる。

⑧ 「D. 6 照射条件の設定」

- a) 「D. 6. 1 中性子の照射条件設定の基本的考え方」の「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」（別添 1 参照）において、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は中性子の照射時間（合計）の実績などで適切な分布形状（例えば、正規分布）を設定すると規定されている。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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁶⁴。

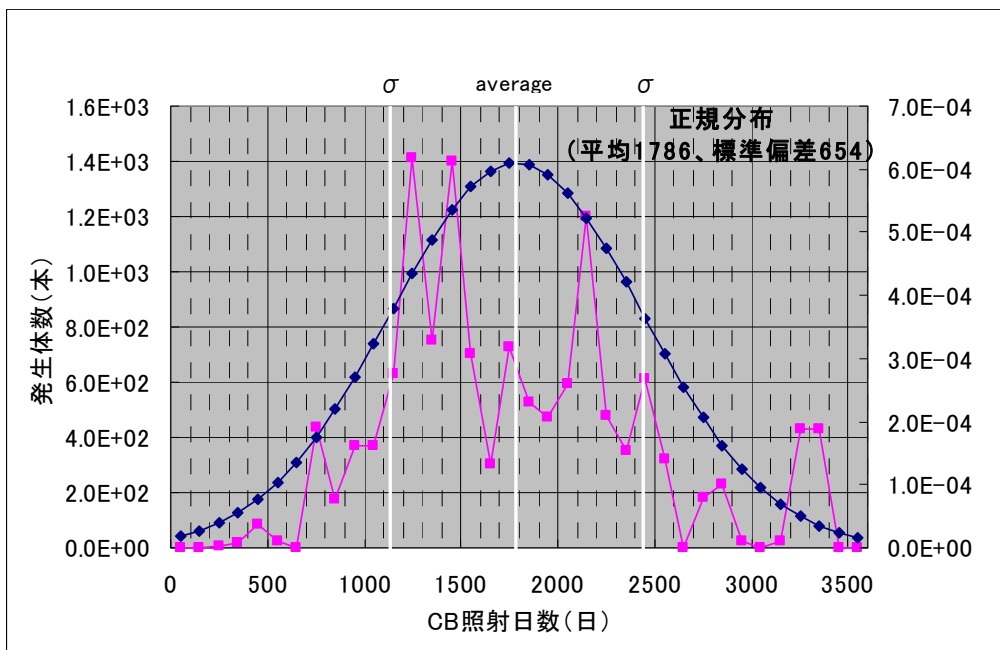
BWR チャンネルボックスの場合、附属書 I の表 I. 14(下記)に示すように、約 13,000 体の燃料集合体の燃焼度の実態調査結果より、燃焼度が正規分布となっていることを把握しています。

燃焼度が正規分布であれば、燃焼度に比例する照射時間の頻度分布も正規分布となります。

表 I. 14—ZrTN804D(BWR チャンネルボックスの本体)の照射時間の出現頻度分布の設定

	燃焼度の実態調査	設定頻度分布	中性子照射時間の設定条件 ^{a)}
中性子照射時間の条件	約 13,000 体の燃料集合体（すなわち、付随するチャンネルボックス）の燃焼度の実態調査結果を踏まえ、次の実態分布が評価された。 燃焼度 : 正規分布	正規分布	平均値=1786 日 標準偏差=654 日
注 ^{a)} 中性子照射時間の設定条件は、燃料集合体の燃焼度（実績）に基づき比出力を踏まえて算出した。 なお、比出力にはプラントの設置許可申請書記載値の最小値を利用した。			

¹⁶⁴ 第 3 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 3-1 回答 16



注：事業者より提供されたデータ

チャンネルボックスの照射日数はプラントの運転計画により決まるので、特定の日数領域に集中して分布することが想定される。「適切な分布形状」を設定することであるが、全体としての正規分布よりは複数の分布グループの集合体として整理する方法も考えられるので、適切な分布形状の設定方法について記載を充実することが望まれる。

- b) 「D. 6. 2. 2 中性子の照射時間」において、中性子の照射時間は「評価対象とする放射化金属等の放射能濃度を代表できるような照射時間、又は放射能濃度評価結果が大きくなるような照射時間の条件を設定する」とされているが、放射能濃度を代表できるような照射時間の条件設定方法、評価結果が大きくなるような照射時間の条件設定方法が記載されていない。また、末尾に「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。それらの方法について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁶⁵。

＜放射能濃度を代表できるような照射時間の条件設定方法、評価結果が大きくなるような照射時間の条件設定方法＞

評価対象物中に生成する放射性核種の放射能濃度は、中性子照射時間に比例して高くなります。このため、評価する対象の放射能が最大放射能濃度（評価結果が大きくなるような照射時間を適用）なのか総放射エネルギー（放射能濃度を代表で

¹⁶⁵ 第3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 3-1 回答 17 及び第3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 3-1-1 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 4

きるような照射時間を適用) なのかによって設定方法が異なります。このため、条件設定方法を規定することはせず附属書に場合分けした例を示しています。また、評価対象物が、チャンネルボックスのような運転廃棄物か、解体廃棄物かによっても異なります。

1) 運転廃棄物の場合の照射時間の設定例 (別添1の表D.8参照)

- ④ 代表できるような照射時間：中性子の照射時間（合計）の実績の頻度分布（例えば、正規分布）を設定し、この頻度分布からランダムサンプリングによって選定します。
- ⑤ 放射能濃度評価結果が大きくなるような照射時間：④で設定しました頻度分布の信頼上限値を平均、標準偏差によって適用します。

2) 解体廃棄物の場合の照射時間の設定例 (別添1の表D.8参照)

- ④ 代表できるような照射時間：対象原子炉ごと及び評価対象とする放射化金属等ごとに中性子の照射実績が同じ場合は、実績を踏まえ個別値の照射時間を一律に設定します。
- ⑤ 放射能濃度評価結果が大きくなるような照射時間：④と同じです。

<比較的短半減期核種との濃度比を用いる場合の設定方法>

「D.6.2.2 中性子の照射時間」の比較的短半減期核種との濃度比の場合の影響の例は、附属書BのB.4.1に示しておりますが、半減期の2倍程度の期間を過ぎると比較的短半減期の短いCo-60の減衰に起因した影響が顕著に表れてきますので、照射期間の長い解体廃棄物に関しては、濃度比法を適用する場合は、10年間ごとに区切るなどの計算条件範囲で、各期間の濃度比を評価する必要があります。

	比較的半減期が長い核種同士の組合せ (⁹⁰ Sr/ ¹³⁷ Cs) (図B.6抜粋)	半減期が短い核種との組合せ (⁶³ Ni/ ⁶⁰ Co) (図B.6抜粋)
解析結果 ^{a)}		
計算条件	長期照射（～60年連続）条件で放射化計算を実施。	
影響の程度 ^{b)}	濃度比への影響：小	濃度比への影響：小（～10年程度） 中（長期照射の場合）

注^{a)} 放射化計算コード：ORIGEN2.2，ライブラリ：JENDL3.3 シリーズ
 注^{b)} 影響の程度は，“大：1桁程度以上の差異を生む”，“中：1桁程度の差異を生む”，“小：2～3倍程度以内の差異を生む”を意味する。

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並びに比較的短半減期核種との濃度比を用いる場合の考慮事項については、明確にすることが望まれる。

- c) 「D.6.2.2 中性子の照射時間」において、「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。」と記載している。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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁶⁶。

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

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

照射時間の条件設定方法は、最大放射能濃度を求める場合と総放射能濃度を求める場合を区別して明確にすることが望まれる。

- d) 「D.6.2.2 中性子の照射時間」の第2段落において、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るが、その理由と「比較的小さい放射能濃度比に与える影響」について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁶⁷。

¹⁶⁶ 第4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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 12(1)

¹⁶⁷ 第4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 4-2-2 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 12(2)

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

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

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

「図B.6-放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果(中性子の照射時間の影響:比較的短半減期核種)」によると、Co-60の放射能濃度は照射時間が5年を超えると増加の直線性が消え、10年を超えるとほぼ一定となっている。規定内容はこのことを指していると思われるので、記載を充実することが望まれる。

- e)「D.6.2.4 照射停止時間(供用期間中における)」の第2段落において、「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」とあるが、その「長期間の具体的期間」及び「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、日本原子力学会は次のように説明している¹⁶⁸。

供用期間中における照射停止時間の影響は、下図(附属書Bの「図B.8-放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果(中性子の照射停止時間の影響)」より抜粋)にサイクルごとに停止した場合と集中的に停止した場合での比較的半減期の短い核種をKey核種に選定した場合の影響に関して、試算した結果を示しております。

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

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

¹⁶⁸ 第4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4-2-2「適用範囲と理論的方法の特徴」回答13

^{60}Co (比較的短半減期核種) 放射能濃度 図 B. 8 より抜粋	濃度比 ($^{63}\text{Ni}/^{60}\text{Co}$) 図 B. 8 より抜粋
中性子の照射停止時間及び中性子の照射停止パターンによる核種生成量への影響は、基本的に小さい。(減衰の影響：小)	濃度比への影響：小
<p>注記1 稼働率 70% (30% は、中性子照射停止) とし、70% に関しては、1 回集中停止、及び各回の中性子の照射停止時間 (パターン) を“均等停止”及び“ランダムな期間の停止”の条件で放射化計算を実施。</p> <p>注記2 影響の程度は、“小：2~3 倍程度以内の差異を生む”を意味する。</p>	

「図 B. 8—放射化計算結果への主な計算条件の影響評価結果 (中性子の照射停止時間の影響)」を引用するなどして記載内容を明確にすることが望まれる。

5. 附属書 E (参考) 原廃棄物分析法の基本的な適用方法

- ① 「E. 2.1 基本的な考え方」の均一混合処理に関連して、解説「6. 4. 2 貯蔵タンク内の均一混合処理」では、「解説図 9—貯蔵タンクの配管 (循環ライン) の表面線量当量率と循環時間との関係」の図の注記において、「図は、タンク内のかくはん (攪拌) のために行った廃液の循環の初期から終期まで、配管の表面線量当量率の最大値と最小値との差異が小さいこと [すなわち、タンク内が均一にかくはん (攪拌) されている状態であること] を示している。」とされている。横軸の循環時間が 190 分、205 分、225 分の時点で線量当量率が $2.0\text{E}-03\text{mSv/h}$ を超えており、線量当量率は変動している。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、日本原子力学会は、以下のように説明している¹⁶⁹。

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

JNES-EV-2013-9005 “中部電力(株)浜岡原子力発電所で製作される均質・均一固化

¹⁶⁹ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 54

体の廃棄確認方法について”，(独)原子力安全基盤機構，平成26年2月

(b) まとめ

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

線量当量率の変化が統計的に許容されるばらつきの範囲なのか検定するなどの工夫することが望まれる。

- ② 「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」において、「表E.4—JIS K 2251:2003に記載された試料採取方法の主な特徴」（略）の「貯蔵タンク内の試料採取方法」欄の「試料調整方法（二次試料）」には、「平均試料 など」と記載されている。「など」の意味について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁷⁰。

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

なお、標準では「平均試料」の適用を主として示しています。

JIS K 2251:2003「原油及び石油製品—試料採取方法」に規定する2次試料の調整方法は、平均試料、混合試料、単タンク混合試料、多タンク混合試料及び多タンク定点混合試料の5種類であり「など」の記載はないので、適用するJIS規格の項番号を記載して明確にするような工夫が望まれる。

- ③ 「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)に規定する方法は、複数の一次試料の平均値と廃棄物投入量から放射能濃度を決定している。二次試料の結果を用いない理由について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁷¹。

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

¹⁷⁰ 第4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4-2-2「実証的方法の具体及び評価結果の不確かさ」回答6

¹⁷¹ 第4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4-2-2「実証的方法の具体及び評価結果の不確かさ」回答7

果が使用できる一次試料の分析データを使用して評価することを示しています。

「a) 廃棄体の放射能濃度として決定する方法」は、1)の代表試料による方法と2)の複数の一次資料による方法のいずれかとしている。最大放射能濃度を求める場合と総放射能濃度を求める場合を区別して明確にすることが望まれる。

6. 附属書F(参考) 放射化計算を行う場合の計算例

- ① 「F.1.3 放射化計算」の「2)放射化断面積」においては、放射化計算コード ORIGIN-S に内蔵されている3群の放射化断面積を THERM, RES, FAST の評価式を用いて補正したとされている。3群の放射化断面積及び THERM, RES, FAST の評価式とは何かについて、また、その放射化断面積の補正方法の適切性について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁷²。

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

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

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

σ_{eff} : 1群実効断面積

σ_0 : 熱中性子断面積 (2,200 m/s)

σ_{res} : 熱外中性子の平均断面積

σ_{fast} : 高速中性子の平均断面積

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

放射化断面積の設定については適切性を確保するため記載を充実することが望まれる。なお、注意書きの文献は2006年版であるがVersion 6が2009年1月に発行

¹⁷² 第4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4-2-2「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」回答18

されている（2022年時点の最新版はVersion 6.2.4¹⁷³、2020年6月発行）。

7. 附属書G（参考） 放射化計算の入力条件の設定例

① 「G.1 元素成分条件の設定例」

- a) 「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は、放射化後に評価対象核種となりうる元素を起源元素として抜けもれなく選定する必要がある。日本原子力学会は、中深度処分対象廃棄物の政令記載核種及び浅地中ピット処分対象廃棄物の申請核種を参考に評価対象核種を選定したとしているが、選定された評価対象核種は政令記載核種及び規則記載核種から一部の核種が追加及び除外されたものとなっている。評価対象核種として、Nb-94を加えた理由及び申請核種例のH-3及びNi-59を除外した理由について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁷⁴。

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

Nb-94：六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター廃棄物埋設事業変更許可申請書に示されている申請核種の一つである。（表G.2参照）

H-3：例とした放射化金属（精錬された材料で製作されるチャンネルボックス及び制御棒）には起源元素として含まれないとして、計算例からは除外。

Ni-59：浅地中処分対象廃棄物と同様にNi-63との比の理論計算法で評価できるとして、計算例からは除外。

「G.1.1.2 起源元素の選定の前提条件」は本文「6.1.2.2.1 起源元素の選定方法」を補足するものであることから、加えた理由及び除外した理由を記載することが望まれる。

- b) 「G.1.1.3 起源元素の選定手順」においては、一次スクリーニングから四次スクリーニングまでの各スクリーニング項目が規定されている。それらの設定根拠について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁷⁵。

b-1) スクリーニング手順の設定に当たって参考にした事例（過去の許認可事例、海外事例等）の有無について

起源元素のスクリーニングの手順の参考事例としては、浅地中処分の安全評価に適用されています下記の事例（出典は表の注1参照）があります。

¹⁷³ SCALE 6.2.4のORIGENコードではORIGEN-Sから-Sの名称が削除された。また、数値解法に複雑な崩壊チェーンに対しても対応可能なチェビシェフ有理近似を導入し、1群断面積も核異性体を含めて多群断面積から作成できるようにしている。

¹⁷⁴ 第4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4-2-2「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」回答19

¹⁷⁵ 第4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4-1「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」回答4

・放射性物質の選定の考え方で「埋設処分の観点から考慮すべきである半減期 30 日以上の放射性物質とし、希ガス及び生成量の極めて小さいものを除く 170 核種とする。」

・原子炉構成材料の元素組成については、以下の方法で設定を行った。

「評価に使用する分析データについては、電気事業者が取得した分析データに加え、新型転換炉「ふげん」の構成材の元素分析データ及び国内外の文献における分析データを使用した。評価に使用した材料別の元素組成設定値を第 3 表に示す。ただし、希ガス元素及び安定同位体が天然に存在しない元素は除外した。」

b-2) 上記の方法が中深度処分対象廃棄物の起源元素の選定に適用できる根拠について

上記の起源元素のスクリーニングの参考事例は、浅地中処分の許認可での事例ですが、ここでは、標準理解のために、具体的な起源元素の選定例として、L2 許可の核種による評価例を示しているものです。実際には、将来の L1 埋設の事業許可で対象とされる核種に基づいて、廃棄確認申請のために、起源元素の選定を行いますので、L1 特有の核種が存在した場合でも対象から漏れることはありません。なお、L2 廃棄体の規制核種の生成源は、炉内の腐食生成物、燃料であり、その核種の生成源は、L1 廃棄物と同様と考えております。

b-3) この設定項目で抜け漏れがないこと、スクリーニングの順番が前後することで評価結果が変わる可能性がないこと、その他起源元素の選定に関わる影響がないことをどのように判断したかについて

申請核種を生成する起源元素の選定に関しては、全 103 元素から出発しますが、「G. 1. 1. 2 起源元素の選定の前提条件」の「c) 起源元素の選定の考え方」(略)に示しますように、起源元素の選定においてスクリーニングを行います。

そのスクリーニングの考え方は、表 4-1 に理由を示しますように、まず、対象元素とならない「初期の起源元素でない放射性同位体 (放射化による核種生成後の崩壊、照射による核種は計算の中に含まれる)」、「評価対象核種を生成しない元素」及び「材料の精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素」は除外し、加えて、「評価対象核種の総生成放射能に対する寄与が小さい元素」までを放射化計算の入力条件に含める必要はないことから除外するものです。

なお、最初に、材料共通の条件として、評価対象物 (中性子による放射化前のコールド材料が放射化計算の出発点である対象元素となります) に含まれない「放射性同位体」、及びそもそも放射化によっても評価対象核種を生成することのない元素は、その後の三次以降のスクリーニングを行う必要もないことから、初期の段階でスクリーニングを行うものです。

次に、三次以降のスクリーニングは、生成量の評価を材料中に存在し評価対象核種を生成する可能性のある元素に対して行うために、材料の製造工程、化学的

性質を考慮したスクリーニングを行い、生成した量の全体に占める割合を踏まえて、放射化計算の入力条件とすべき起源元素として選定する手順としています。

表 4-1 スクリーニングの理由など

スクリーニング	理由・根拠	適用除外
一次：初期の起源元素でない放射性同位体	照射されていない炉内構造物の材料が放射化計算の出発点であるため、この材料に含まれない放射性同位体は起源元素から除外できる。 ¹⁾	天然に広く存在する U, Th は除外しない
二次：評価対象核種を生成しない元素	全元素に対して、中性子照射によって生成する核種を計算評価 ²⁾ し、放射化によっても評価対象核種を生成しない元素は除外できる。	—
三次：材料の精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素	構造物の材料の製造過程の熱処理（精錬など）、化学処理（スラグ化、還元処理）によって受ける温度以下の沸点の元素は揮散、又は化学反応でスラグ等に移行させて除去されるため、除外できる。また、希ガス元素も除外できる ¹⁾ 。	添加される元素
四次：評価対象核種の総生成放射能に対する寄与が小さい元素	評価対象核種を生成する元素でも、その生成量が非常に少なく、総生成放射能に対する寄与が小さい元素は、除外できる。	生成比 0.01% ³⁾ 以上の元素は除外しない。

注 1 放射化計算の対象元素から放射性同位体を起源元素から除外している例としては、「補足説明資料 9 廃棄物埋設施設における許可基準規則への適合性について第十条 廃棄物埋設地のうち第四号（廃止措置の開始後の評価）線量評価パラメータ-パラメータ根拠集-2021 年 6 月 日本原燃株式会社の添付資料 2 総放射エネルギーの設定について」において、「評価に使用した材料別の元素組成設定値を第 3 表に示す。ただし、希ガス元素及び安定同位体が天然に存在しない元素は除外した。」と同様な適用を行っている。

また、この原子炉構成材料の元素組成は、中深度処分対象廃棄物である。

注 2 放射化計算条件は、計算コード：ORIGEN2.2, 断面積ライブラリ：PWR41J33, 照射時間：30y, 中性子フルエンス率： $4.72 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}/\text{s}$, 元素量：各元素とも等量 (0.001kg) として、評価対象核種（ここでは、仮に ^{14}C , ^{36}Cl , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{129}I , ^{137}Cs , 全 α を評価対象核種とした例で示している)

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

また、標準には示しておりませんが、第 3 次スクリーニングにおける除外理由とその根拠に関して、表 4-2 に示します。

表 4-2 第 3 次スクリーニングの根拠

第 3 次スクリーニング項目	元素を除去対象とできる根拠						
<p>スラグとして除去 原料である鉱石に含まれるが、高炉などで原料を溶解分離したときのスラグとして大半は除去</p>	<p>化学反応による除去（反応式 $(S+3(CaO) = (CaS)+0)$、及び $(2P+3(CaO) + 5O = 3(CaO \cdot P_2O_5))$ で示されるようにスラグ-メタル間の化学反応）のため反応が続きます。</p> <p>なお、炭素鋼の例となりますが、副原料である石灰石（5～10%の配合 1）の Ca（アルカリ金属類）に着目して、製鋼過程でスラグに移行せず鉄鋼中に残存する Ca は 0.0001%以下¹⁾、SUS304 で 0.0004%²⁾であることを踏まえると、スラグに移行せず金属中に残る元素の残存率（製鋼中の Ca/原料中の Ca）は、$9E-5 \sim 2.6E-4$ 程度と考えられることから、十分低減できると考えます。</p>						
<p>低沸点による揮発 高炉の温度が 2000℃近くとなることを考慮すると、揮発する可能性が高い</p>	<p>材料によって、製造工程で受ける温度条件は異なるが、材料が製造中に受ける温度に対して元素の沸点（Rb : 688℃～Sb : 1,635℃）³⁾を比較することで、微量成分である沸点の低い元素の揮散の有無が確認できます。</p> <p>また、鉄鋼の場合、高温での処理時間も高炉で約 1,500～2,000℃、約 6～8 時間に加え、転炉で約 1,200～1,600℃、30 分程度、SUS の精錬に適用されている VOD（Vacuum Oxygen Decarburization）で約 1,650℃、50～100 分程度⁴⁾、と脱気に対しての十分な時間が掛けられています。</p> <p>さらに、転炉に当たる SUS 及びジルカロイの溶解・精錬工程では、真空脱気又は Ar 吹込みによる脱気操作も加えられ、より脱気を容易にしています。</p>						
<p>希ガス 岩石・鉱物に微量含まれるが、希ガスが不純物として金属に混入する可能性は、低い⁵⁾</p>	<p>化学的に不活性なガス物質であり、溶鋼に溶解しないとして、溶存ガスや介在物の分離浮上を促進するためのバブリングガスとして多量に使用されていることから金属に混入する可能性は低い。</p> <p>また、希ガスである Ar の炭素鋼への溶解度を評価した結果（$1.569E-8 \text{ cm}^3\text{-Ar}/\text{cm}^3\text{-Fe}(1580^\circ\text{C})$）⁶⁾を踏まえると、鉄鋼中の存在量は、$3.6E-10$程度であり、存在量としては無視できるレベルと考えられます。</p>						
<p>希少元素 希少性が高く、不純物として金属に混入する可能性は、低い</p>	<p>希少元素（ルテニウム Ru）の白金族鉱物（Ru の主な産出源となる鉱物）及び地殻中の存在濃度の例を下表に示しますが、主に白金族鉱石に含まれて、採掘される Ru は、その鉱石中の濃度も低く、微量元素として存在する地殻中の濃度は、さらに低いことから、SUS などの原料に含まれる不純物（制限値は最も低い U で 3.5ppm）として混入する濃度も同様に低いと考えられます。</p> <table border="1" data-bbox="584 1581 1339 1655"> <thead> <tr> <th data-bbox="584 1581 844 1615">白金族鉱石⁷⁾</th> <th data-bbox="844 1581 1078 1615">SUS304 分析²⁾</th> <th data-bbox="1078 1581 1339 1615">地殻⁸⁾</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="584 1615 844 1655">0.18～57.75 ppm</td> <td data-bbox="844 1615 1078 1655"><1 ppm</td> <td data-bbox="1078 1615 1339 1655">0.01 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	白金族鉱石 ⁷⁾	SUS304 分析 ²⁾	地殻 ⁸⁾	0.18～57.75 ppm	<1 ppm	0.01 ppm
白金族鉱石 ⁷⁾	SUS304 分析 ²⁾	地殻 ⁸⁾					
0.18～57.75 ppm	<1 ppm	0.01 ppm					
<p>還元性雰囲気による除去 高炉における還元性雰囲気によって、精錬過程で除去</p>	<p>化学反応による除去（炭素による熱還元 Fe : $Fe_2O_3 \rightarrow$ 高炉(過剰還元) \rightarrow 転炉(部分酸化) \rightarrow 粗鋼 フェロアロイ (Fe-M 合金, M : Ni, Cr, Si, Mn) : $(Fe, M)O_x \rightarrow$ 電気炉 \rightarrow 粗 Fe-M 合金) 脱硫 : $(CaO) + [S] = (CaS) + [O]$ 又は $(CaO) + [S] + [C] = (CaS) + CO$ のため、反応物質が十分であれば反応が続きます。</p> <p>また、鋼質の向上を図るためには、精錬過程における溶鋼の脱酸、脱硫管理が重要で管理されており、溶鋼中の酸素濃度は脱酸、脱硫後で $1E-3 \sim 4E-3$ %程度との文献⁹⁾もあり、十分に除去されると考えられます。</p>						

注1 鉄鋼の原料：社団法人日本鉄鋼連盟，

<https://www.jisf.or.jp/kids/shiraberu/03.html> 及び JSS 日本鉄鋼認証標準物質一覧，日本鉄鋼連盟 標準化センター

注2 「ふげん」発電所の主要構造材元素組成分析，日本原子力学会和文論文誌，Vol. 9, No. 4, p. 405~418 (2010)

注3 化学便覧 第六版 日本化学会編

注4 ステンレス鋼便覧-第3版- ステンレス協会編

注5 希ガス元素を起源元素から除外している例としては、「補足説明資料9 廃棄物埋設施設における許可基準規則への適合性について第十条 廃棄物埋設地のうち第四号(廃止措置の開始後の評価)線量評価パラメータ-パラメータ根拠集-2021年6月 日本原燃株式会社の添付資料2 総放射エネルギーの設定について」において、「評価に使用した材料別の元素組成設定値を第3表に示す。ただし、希ガス元素及び安定同位体が天然に存在しない元素は除外した。」と同様な適用を行っている。

注6 北大 石井ら，溶融鉄中のアルゴン溶解度と添加元素効果，科学研究費助成事業 1994年度

注7 世界の PGM 資源の探査・開発・技術動向の調査・情報提供事業，国際鉱物資源開発協力協会，平成 16 年 3 月

岸本，資料 ソ連の白金鉱床，地質調査所月報 (第 26 巻第 3 号)

Platinum-Group Elements in Sulphide Minerals, Platinum-Group Minerals, and Whole-Rocks of the Merensky Reef (Bushveld Complex, South Africa): Implications for the Formation of the Reef, JOURNAL OF PETROLOGY, Vol148, No8, 2007

注8 中川，レアメタルテキスト：(2) 白金族元素，資源地質，60(2)，2010

注9 材料設計技術研究所，鋼中の酸素濃度と酸素分圧について，平成 25 年，及び LD-AOD 法によるステンレス鋼製造法，鉄と鋼，67(1981)

b-4) 二次スクリーニングにおける放射化計算条件の設定根拠について

「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)」の注記2に示します計算条件は、下記のような考え方で、中性子フルエンス率が比較的高い PWR プラントの条件で、起源元素のスクリーニング用の放射化計算条件を設定しています。

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) (抜粋)

注記2 放射化計算条件は、計算コード：ORIGEN2.2，断面積ライブラリ：PWR41J33，照射時間：30y，中性子フルエンス率： $4.72 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}/\text{s}$ ，元素量：各元素とも等量 (0.001kg)

1) 断面積ライブラリ：PWR41J33

ORLIBJ33 のライブラリで JENDL-3.3 に基づいた ORIGEN2 用断面積ライブラリです。

<https://www.ndc.jaea.go.jp/jendl/j33/j33appli/orlibj33.html>

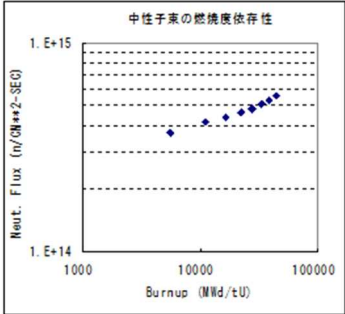
ロ) 照射時間：30y

40 年間稼働（設備利用率を約 80%）を想定した正味照射時間は、約 30 年間に相当するものです。

ハ) 中性子フルエンス率： $4.72 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}/\text{s}$

下記の燃料の燃焼条件での燃焼時に発生する中性子フルエンス率の変化を踏まえ、平均値で設定したものです。

表 4-3 中性子フルエンス率の変化

<p>評価条件：</p> <p>燃料： U 1000 kg [濃縮度 4.1 wt%]</p> <p>比出力： 54 MW/tU 一定</p> <p>最大燃焼度： 44,000 MWd/tU</p> <p>断面積ライブラリ：PWR41J33</p>	 <p>平均値：$4.72 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}/\text{s}$</p>
--	--

ニ) 元素量は、放射化計算による核種生成の有無を評価する目的としていることと、4 次スクリーニングで材料別の各元素の推定存在濃度レベルを基に生成比を評価するため、一律 1g での評価としています。

b-5) 有効数字 2 桁と 3 桁での違い について

「有効数字は 2 桁で、かつ切り上げて評価値を決める」ことで規定していますので、このレベルに影響を与えない「生成比 0.01%未満」でスクリーニングすることで問題はないと考えております。

なお、有効数字 3 桁とした場合でも、3 桁目を切り上げて有効数字 2 桁とした結果で保守的にカバーされると考えます。

また、親元素は全 103 元素から始めており、かつ、規制される申請核種を生成しない元素は、1 次スクリーニングを行わず、対象に加えて放射化計算を行っても起源元素の対象から落ちることになりますので、結果としては同じになると考えております。

b-6) どの程度揮散するかについて

沸点以上の温度を長時間加えることで、揮散すると考えておりますが、揮散量までを示すことは難しいため、表 4-4 に示す元素に関しての鉄鋼中の存在量から、低沸点の元素は、ほとんど揮散すると考えられます。

表 4-4 鉄鋼中の存在量

	Rb	Sr	Sb	Te	Cs	Ba
SUS304 ¹⁾	0.00003%	0.00042%	0.0012%	<0.00001%	<0.000005%	0.00002%
高純度鉄 3 種 ²⁾	—	—	<0.0002%	<0.0001 %	—	—

出典 1 : 「ふげん」発電所の主要構造材元素組成分析, 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 9, No. 4, p. 405~418 (2010)

出典 2 : JSS 日本鉄鋼認証標準物質一覧, 日本鉄鋼連盟 標準化センター

b-7) 金属も同じ観点でスクリーニングが可能である理由について

b-3) の回答に示しましたスクリーニングの基本的な考え方は、汎用的な考え方を示しており、特定の材料（ジルカロイ、SUS）に限ったものではないと考えております。ただし、影響の程度は、個別審査で確認することになると考えます。評価対象元素のスクリーニングにおける除外理由とその根拠については、利用者の理解を助けるために明確にすることが望まれる。

- c) 「G. 1. 1. 3 起源元素の選定手順」の「b) 二次スクリーニング（材料共通）」に示す「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）」の注記 3 には、「ORIGEN 上の閾値（CutOff）は、3.7Bq（ $=1.0 \times 10^{-10}$ Ci）とした（ただし、照射時間 60y での生成量で核種生成の有無を判断。）」と規定されている。しかし、同表によると起源元素 V による評価対象核種 ⁶⁰Co が 1.13Bq、Kr による ⁹⁰Sr が 2.51Bq 及び Sb による ¹³⁷Cs が 0.325Bq として集計されている。ORIGEN 上で閾値を設けることの適否について、日本原子力学会は、以下のように説明している¹⁷⁶。

附属書 G は計算例を示したもので、計算条件が示されていれば良いものです。

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

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

「適切性」に関しては、なお書きに示しています。

起源元素 V による評価対象核種 ⁶⁰Co が 1.13Bq、Kr による ⁹⁰Sr が 2.51Bq 及び Sb による ¹³⁷Cs が 0.325Bq を閾値として集計していることについても理由を明確にすることが望まれる。

- d) 「G. 1. 1. 3 起源元素の選定手順」の「c) 三次スクリーニング（材料別）」に示す「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）」には、「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

¹⁷⁶ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 20(1)

ラグとして大半は除去」と規定されており、例えば Sr は当該項目及び「低沸点による揮発」に該当しており、他方、Y は「スラグとして除去」のみが該当しているが、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について、日本原子力学会は、以下のように説明している¹⁷⁷。

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

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

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

「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)」に示す「精錬時にスラグとして除去」等の観点 6 項目については、「○」記号で該当する元素のみの根拠を記載しているが、該当しないものは「-」記号のみであり適否が判別できない。例えば、Ru は「希少元素」及び「用途が限定される」に「○」記号が付されているが、スクラップ材の利用を考慮すると上記観点で除外することが適切か判断できない。「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)」の記載の充実が望まれる。

- e) 「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。」としている。「生成比 0. 01 % 未満」を本文に規定しないことについて、日本原子力学会は次のように説明している¹⁷⁸。

四次スクリーニングにおける判断基準として示しています「生成比 0. 01%未満」は、附属書 G の G. 1. 1. 3 d) 3)に示しておりますように、下記の考え方によるものですが、起源元素選定の一連の起源元素の選定手順の中に示した方が良いと考え、附属書 G に示しているものです。

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

¹⁷⁷ 第 4 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 4-2-2「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」回答 20(6)

¹⁷⁸ 第 4 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 4-2-2「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」回答 5(4)

0.01%未満（有効数字5桁以下に影響）とした。」

炉内等廃棄物に含まれる放射性物質の多くは10万年程度で十分な減衰を期待できるものの、長半減期核種の濃度が比較的高いものも含まれる。四次スクリーニングの判断指標としては、生成比による判断のみならず、線量への寄与率による評価の要否及び生成比の閾値0.01%未満について長半減期核種の種類によって異なる値とする必要がないか検討し、本文に具体化することが望まれる。

f)「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）」には、各評価項目の該当/不該当の基準が定性的に規定化されている。基準について定量的に選定することについて、日本原子力学会は、以下のように説明している¹⁷⁹。

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

なお、定量的な判断理由は、上記b)を参照ください。

スクリーニング対象	除外できる理由
スラグとして除去	アルカリ族、アルカリ土族、希土族の元素として原料である鉱石に含まれるが、高炉などで原料を溶解分離したときに化学反応 ¹⁾ によってスラグとして大半は除去される。
低沸点による揮発	製造過程における受ける温度環境（高炉では温度が2,000°C近くとなる）を考慮すると、沸点から揮発する可能性が高い元素は除去される。（すなわち、鋼の場合：沸点が2,000°C以下の元素が対象）
希ガス	岩石・鉱物に微量含まれるが、製造過程（温度環境（製洗、製鋼工程で受ける2,000°C程度の温度）、脱ガス処理（真空脱ガスなど））によって、希ガスが不純物として金属に混入する可能性は低い。
希少元素	希少性が高く、これ自体が不純物として金属に混入する可能性は低い。対象の白金族金属のRuは、ハードディスク用の磁気記録膜の下地層として利用が発見され希少価値が高まったもので、白金の副産物として年間数10tしか産出されない。
還元性雰囲気による除去	高炉における還元性雰囲気（鉄鉱石（Fe ₃ O ₄ 、Fe ₂ O ₃ など）の天然鉱石のH ₂ 又はCOの吹付などによる還元操作）によって、精錬過程で除去される。 ただし、酸素を吹付けて脱炭する場合もあるため、この場合は除外しない。

¹⁷⁹ 第4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4-2-2「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」回答20(7)

用途が限定される	<p>特定の用途に利用する場合だけに含まれる元素は除外される。 (アルカリ族の Rb はレアメタルであり、リチア雲母からリチウムを精製する際の副産物で原子時計などの用途、Ru は白金の副産物で、ハードディスク用の磁気記録膜の下地層や触媒などの用途、ハロゲン元素の I は、天然ガスとともに汲み上げられるかん水が原料で殺菌剤やレントゲン造影剤などの用途)。</p>
----------	--

注1：化学的影響の一例として、精錬工程での脱硫、脱りんは、反応式 $(S+3(CaO) = (CaS)+0)$ 、及び $(2P+3(CaO) + 5O=3(CaO \cdot P_2O_5))$ で示されるようにスラグ-メタル間の化学反応で S 及び P が除去されることが挙げられる。

(出典：鉄の高純度化精錬，まてりあ，Vol. 33, No. 1 (1994))

精錬工程での脱硫、脱りんは鋼材の不純物低減の目的で通常行われるようになって来たが、完全に除去されることはない。また、これらの設備の導入前に製造された材料も存在する。「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)」は製造時期も考慮した記載とすることが望まれる。

- g) 「表 G. 5—三次スクリーニングで除外対象とできる元素例 (ZrTN804D, SUS304 の場合の例)」の注 a) には、「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」と規定されている。機械的強度向上を目的とした添加の場合三次スクリーニング対象外となる理由について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁸⁰。

このスクリーニングで重要なのは、元素の「添加」であり、「機械的強度向上を目的」は添加の理由を示したものに過ぎません。したがって、酸素が製鋼過程で添加されていることを踏まえ、スクリーニングの対象外とし、評価対象元素として残したものです。

本文「6. 1. 2. 2. 1 起源元素の選定方法」の補足の一部が「G. 1. 1. 3 起源元素の選定手順」の「c) 三次スクリーニング (材料別)」であることを考えると、「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)」の各評価項目の該当/不該当の基準については、明確にすることが望まれる。

- h) 「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)」は、金属材料を想定しているが、「G. 1. 1. 3 c) 三次スクリーニング」ではコンクリートの場合は、三次スクリーニングに低沸点による揮発、希少元素、用途が限定されている元素の適用が想定されるとしている。コンクリートの場合は高温による精錬プロセスがないと考えられるが、考慮すべき低沸点元素 (化合物として存在する場合も含む) としてどのような元素が考えられるのか及びそのスクリーニング基準について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁸¹。



¹⁸⁰ 第4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 4-2-2「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」回答 20(8)

¹⁸¹ 第4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 4-2-2「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」回答 20(4)

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

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

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

セメントの製造工程	セメントの製造の概要
<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">原材料の保管 (石灰石、粘土類)</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">ドライヤ</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">原料ミル</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">原料調整</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">ロータリーキルン (焼成)</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">セメントミル</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">製品保管</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: right; font-size: small;">セメントクリンカ</div>  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: right; font-size: small;">セメント</div>  </div>	<p>主原料である石灰石、粘土、珪石などを調合し、予熱機から巨大な回転窯（ロータリーキルン）に投入し、高温焼成した後、空気で急冷するとセメントクリンカと呼ばれる 1cm 程度の火山岩のような黒い塊になります。</p> <p>これに適量の石膏を添加し、さらにミルで粉砕し、セメントが完成する。</p> <p>主原料の石灰石は 100%国内調達されており、キルン内の温度は最高 1,450℃にも達する。</p> <p>(一社 セメント協会ホームページなどより)</p>

コンクリートはセメント材、骨材、混和材、水で構成されているので、セメントだけの記載は不十分であり、骨材、混和材、水を考慮したスクリーニングについて記載を充実することが望まれる。

- i) 「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)」に示す「表 G.6—起源元素の推定存在濃度レベル例 (オーダー)」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いるものがある。例えば、表下段の SUS304 において、JIS の規定値は $Mn \leq 2.00\%$ 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%であるのかかわらず、推定存在濃度レベルが 1.0% (有効数字 2 桁の指数表示) と評価されている。推定存在濃度レベルの評価方法の妥当性について、日本原子力学会は、以下のように説明して

いる¹⁸²。

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

このため、1 %のオーダーと設定しています。

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

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

Mn 推定量を 2.0%とすると、「表 G. 8—四次スクリーニング評価結果例（生成比の評価による除外）（SUS304 の例）」における Mn による ⁶⁰Co の生成比 0.00548%が約 2 倍となり 0.01%を超え、四次スクリーニングで除外できなくなる。また、ステンレス鋼（SUS304）の Mn、C、Si は添加元素であり不純物元素として扱うのは適切でない。金属材料の成分設計に基づき不純物元素と添加元素の区別を明確化することが望まれる。

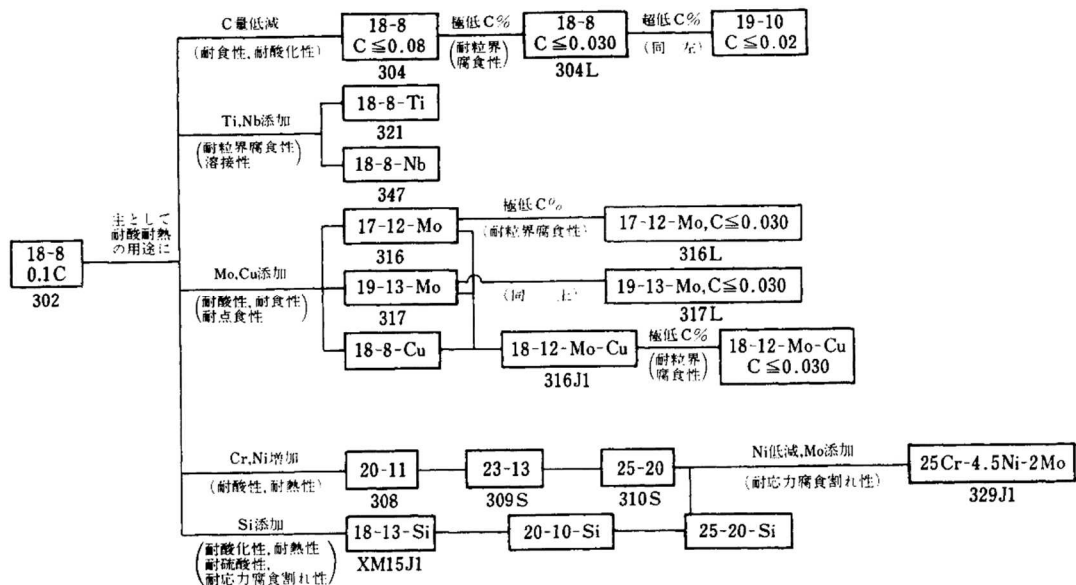
- j) 「G. 1. 2 元素成分条件の設定における考慮事項及び例」の「G. 1. 2. 1 概要」に示す「図 G. 3—元素成分条件（濃度分布）の設定方法の概念フロー」は、図中央部の「各元素の濃度分布基本形状選択における基本的な考え方」において、元素の種類は主成分、不純物成分及び微量成分に区分されている。材料特性改善のための添加元素は何に区分されるのか、日本原子力学会は次のように説明している¹⁸³。

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

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

¹⁸² 第 4 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 4-2-2「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」回答 20(2)

¹⁸³ 第 4 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 4-2-2「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」回答 20(3)



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

材料特性改善のための添加元素は主成分扱いとしているが、「表 G. 11—ZrTN804Dの化学成分の製造管理目標値(不純物成分)」(別添1参照)及び「表 G. 12—SUS304の化学成分の製造管理目標値」(別添1参照)に記載する不純物成分は上記回答と整合していないことから、見直すことが望まれる。

k) 「G. 1. 2. 2 元素成分データの収集例」において、評価対象とする放射化金属等を「適切に代表できる」と「保守的に代表できる」方法で収集とある。その違いについて、日本原子力学会は次のように説明している¹⁸⁴。

附属書Gの「G. 1. 2. 2 元素成分データの収集例」に示しています適切又は保守的に代表できる方法は、下記のとおりです。

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

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

本技術評価書の「4. 2. 6 濃度比法」(2)でも述べているように、「同種の材料種類」を加えることが最大放射能濃度又は総放射能濃度を求める場合において真に保守的なのか疑問が残るところである。信頼性の高い元素成分データの収集を目的とした記載に見直すことが望まれる。

1) 「G. 1. 2. 3. 1 元素成分条件の設定方式の選定例」において、「評価対象とする放射化

¹⁸⁴ 第4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4-2-2「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」回答21

金属等の元素成分条件の設定方式は、収集した元素成分データ及び放射能濃度決定方法の種類に応じて、次のいずれかが選択できる。」として、評価対象とする放射化金属等の代表的な元素成分データ（元素成分データの平均値など）で設定する方式と評価対象とする放射化金属等の元素成分データ群によって濃度分布を設定する方式が規定されている。これらの使い分け又は評価手法の同等性について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁸⁵。

元素成分条件の選定する設定する方式（附属書 G の「表 G.9—元素成分条件の設定方式及び元素成分データの種類放射能濃度決定方法に対する組合せの例」（別添 1 参照））には、次の 2 種類を標準では規定していますが、次のように理論計算法の種類によって、使い分けを行うことになります。

イ) 点推定法の場合

評価対象とする放射化金属等の代表的な元素成分データ（代表値）で設定する次の方式：

- ・代表分析値： 同一ロットの品質サンプルなどの元素分析値を適用する方法（対象物を個別に評価する場合は想定される）
- ・分析データ群： 元素成分の分析データ群の平均値、最大値を適用する方法（対象廃棄物グループを評価する場合は想定される）

ロ) 区間推定法の場合

評価対象とする放射化金属等の元素成分データ群によって濃度分布を設定する次の方式：

- ・分析データ群の代表分析値：複数の同一種類及び品質の元素成分データの濃度分布を使用し、この分布から平均値、最大値を適用する方法
- ・分析データ群：複数の同一種類及び品質の元素成分データの濃度分布を使用し、この分布からランダムサンプリングを適用

また、双方の元素成分条件の設定方式は、評価対象の放射能（最大放射能濃度又は放射能量）に応じて設定するものであり、同等性を求めたものではありません。

ただし、それぞれの評価する放射能（最大放射能濃度及び総放射能量）に対して、表 5 に示します元素データを使用します。

表 5 適用する元素データ

	最大放射能濃度	総放射能量
点推定法	・元素分析データ群の最大値	・元素の代表分析値 ・元素分析データ群の平均値
区間推定法	・元素分析データ群の最大値	・元素分析データ群の分布からランダ

¹⁸⁵ 第 4 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 4-1 「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」 回答 5

	<ul style="list-style-type: none"> ・元素分析データ群の分布からランダムサンプリングによる設定（信頼上限値） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ムサンプリングによる設定（平均値） ・元素分析データ群の分布から平均値
--	--	---

補足：換算係数法の元素成分条件の設定方式と設定例について

換算係数法を用いる場合の元素成分条件の設定方式については、「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」（別添1参照）に示すように、分析データ群と濃度分布による設定の組み合わせとなります。同表の注 c)に記載する「換算係数法を用いる場合は、設定した濃度分布によって各元素の代表値（起源元素ごと）を設定する。」の具体例としては、平均放射能濃度（総放射能濃量）を求める計算例として「附属書 J（参考）換算係数を用いる場合の計算例」の「J.2.2.1 元素成分条件」の「b) 元素成分条件の設定」に分析データの平均値を設定する例があります。

なお、換算係数法の元素成分条件の設定方式について、附属書 J は平均放射能濃度を評価する例を示しているため代表値で設定していますが、標準では代表値、ランダムサンプリングどちらでも設定可能としており、最大放射能濃度の評価では入力条件をランダムサンプリングとすることを考えています。

元素成分条件の設定方式は、最大放射能濃度を求める場合と総放射能濃度を求める場合に区別して明確にすることが望まれる。また、「附属書 J（参考）換算係数を用いる場合の計算例」は、「J.1.2 放射化計算の条件の設定」の「a) 元素成分条件」において「附属書 G に示す方法で、評価対象廃棄物ごとに起源元素を選定し、各元素の濃度の代表値を1点設定する。」としているので、ランダムサンプリングによる元素成分条件に対して換算係数法が有効なのか判断することはできない。ランダムサンプリングした元素成分条件を使って換算係数法で評価した事例の記載を拡充することが望まれる。

- m) 「G.1.2.3.1 元素成分条件の設定方式の選定例」の「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」（別添1参照）には、元素成分条件の設定方式の一つである「代表値^{a)}による設定」について、注 a)において「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。」とある。「単一廃棄物グループ」とは何か、日本原子力学会は次のように説明している¹⁸⁶。

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

¹⁸⁶ 第4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 4-2-2「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」回答 22(1)

「棄物グループ」は、下記のとおりです。

廃棄物単一： 評価対象とする放射化金属 1 体の意味です。

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

「単一廃棄物グループ」の意味が理解できるような記載にすることが望まれる。

- n) 「G. 1. 2. 3. 2 各元素の濃度分布基本形状の設定例」の「表 G. 10—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（主成分）」及び「表 G. 11—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（不純物成分）」（別添 1 参照）には、ジルカロイ 4 の起源元素 0（酸素）が含まれていない。「JIS H 4751:2016 ジルコニウム合金管」の「表 2—化学成分」には「酸素含有量は、受渡当事者間の協定による」とされ、許容変動値が 0.020%と規定されている。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、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の対象外）とした」とされている。「表 G. 10—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（主成分）」又は「表 G. 11—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（不純物成分）」に酸素の記載がないことについて、日本原子力学会は、以下のように説明している¹⁸⁷。

附属書 G の「表 G. 10—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（主成分）」及び「表 G. 11—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（不純物成分）」には、「0」は含まれておりません。これは、本表に引用した JIS H 4751:1998 では、化学成分の表に「0」の記載が無かったことによるものです。

なお、ご指摘のように最新の JIS H 4751:2016 では、表 2 化学成分の規定値は JIS H 4751:1998 と同じく定められておりませんが、許容変動値に「0」が加えられています。

ただし、ZrTN804D 起源元素の選定において、表 G. 5 の注 a)に示しますように、製造工程で「0」の添加が考えられるため、標準では表 G. 10 に加え、「0」も起源元素として考慮することとしております。

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

元素	Sn	Fe	Cr	Fe+Cr	Zr
化学成分 (質量分率%)	1. 2~1. 7	0. 18~0. 24	0. 07~0. 13	0. 28~0. 37	残部

[3]JIS H 4751:1998 ジルコニウム合金管

(注記 酸素含有量は、受渡当事者間の協定によるとされている)

解説の「1.2 今回（2017 年）の改定の経緯」にあるように、放射能濃度決定標準の改定作業は 2017 年以降に行われているが、上記 JIS 規格は 2016 年に改正されている。規格策定／改定時における JIS 等の適用年版の考え方について、日本原子力学会

¹⁸⁷ 第 4 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 4-2-2「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」回答 23(1)

は、以下のように説明している¹⁸⁸。

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

「G. 1. 2. 3. 2 各元素の濃度分布基本形状の設定例」は、材料製造時のJIS年版を記載したというのであれば、受渡当事者間の協定による添加元素についても記載し、「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)」の記載と整合させることが望まれる。

- o) 「G. 1. 2. 3. 2 各元素の濃度分布基本形状の設定例」の「表 G. 11—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値 (不純物成分)」(別添 1 参照) 及び「表 G. 12—SUS304 の化学成分の製造管理目標値」(別添 1 参照) には、不純物成分元素の製造管理目標値が示されているが、「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」(別添 1 参照) には、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規定されている。製造管理目標値と対数正規分布の関係について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁸⁹。

一般に、鉍物などに含まれる「不純物成分元素」や「微量成分元素」は、調整が行われな限り、基本的に「対数正規分布」で存在すると考えられます(別紙「II. 附属書に関する気付き事項」の「4. 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」⑥k) の回答参照)。

しかしながら、制限管理が行われる「不純物成分元素」に関しては、製造管理目標値以下とするために、スラグ中に元素の一部を移行させる処理が行われた場合のように、濃度分布が歪められる可能性がありますので、放射能濃度決定標準「6. 1. 2. 2. 3 起源元素の成分条件の設定方法」に示しますように、実際の鋼材の「収集した起源元素の分析データの濃度分布」を踏まえ、この点を確認することとしております。

上記 j) でも述べたように、「表 G. 11—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値 (不純物成分)」及び「表 G. 12—SUS304 の化学成分の製造管理目標値」では、微量添加元素を不純物元素として扱っているものもある。金属材料の成分設計に基づき不純物元素と添加元素の区別を明確化することが望まれる。

- p) 「G. 1. 2. 3. 2 各元素の濃度分布基本形状の設定例」の「表 G. 12—SUS304 の化学成分の製造管理目標値」(別添 1 参照) の参考文献の最新版である「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」には、SUS304 系鋼板として

¹⁸⁸ 第 4 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 4-2-2「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」回答 23(1)

¹⁸⁹ 第 4 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 4-2-2「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」回答 22(2)

Cu、N 又は Nb が添加された種類の記号が規定されている。「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 そのものの元素管理目標値であるが、上記添加元素ありの鋼板が規格化される前は、添加元素ありの材料であっても表示記号が SUS304 という場合も考えられる。上記添加元素を微量元素とすることの適切性について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁹⁰。

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

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

JIS G 4305 冷間圧延ステンレス鋼及び鋼帯の規定鋼種の主な変遷

鋼種	鋼種の追加理由など	制定 1959 年	改正 1981 年	改正 1991 年	改正 2005 年
SUS304, SUS304L	メインの鋼材	○	○	○	○
SUS304N 系	窒素添加 (主成分) で強度を高めた鋼種、LN は Nb 制限	—	○	○	○
SUS304J 系	深絞り性の改善 (Cu 添加 (主成分)) など	—	—	○	○
SUS304Cu	生産量多い (Cu 添加)	—	—	—	○

材料メーカーが「勝手に元素添加は行われることはない」とのことであるが、添加元素ありの材料記号は実績を踏まえて規格化されているので、新たな材料記号の制定前から受渡当事者間の協定により元素添加が行われている場合があり得る。微量添加元素の分布の考え方について見直すことが望まれる。また、「表 G. 12—SUS304 の化学成分の製造管理目標値」には Fe の記載がないが、Fe が残部である旨明確にすることが望まれる。

② 「G. 2 中性子条件の設定例」

- a) 「G. 2. 1 概要」において、「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。」と記載している。全ての評価対象核種について計算を求めているのか、日本

¹⁹⁰ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 23 (2)

原子力学会は次のように説明している¹⁹¹。

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

中性子フルエンス率・中性子スペクトルを計算で求めるのは評価対象とする全ての核種であることを明確にすることが望まれる。

- b) 「G. 2. 1 概要」に示す「例」において、「中性子フルエンス率・中性子スペクトルを設定する場合に考慮が必要となる基本的な事項は、表 D. 7 に示した次による。」とあり、表 D. 7 と次の部分だけが異なる表が記載されている。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-中性子フルエンス率の設定における基本的な考慮事項」（別添 1 参照）に記載のある「温度分布」が記載されていない。また、項目欄の「炉内位置」が「評価対象廃棄物の位置」に変わっている。その理由について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁹²。

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

附属書 G は放射化計算の入力条件の設定例を示したものであり、チャンネルボックス本体と制御棒に限定した附属書とはなっていない。参考を示しているチャンネルボックス本体と制御棒の中性子条件は上記「例」の後の段落において記載されているので、「例」で示す表に温度条件を除外してよいとする理由はない。「例」に示す表を削除又は表 D. 7 を再掲し、「G. 2. 1 概要」の後段に記載するチャンネルボックス本体と制御棒の設定例に関する記述において、温度条件は考慮事項から除外している旨の記載とする等整理することが望まれる。また、「評価対象廃棄物の位置」と「炉内位置」は、同じ意味であれば、用語を統一することが望まれる。

また、「G. 2. 1 概要」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ことについて、日本原子力学会は「附属書 D の D. 5. 1 に戻らずに通りの考え方を理解頂くために重複した記載」¹⁹³としたとのことであるが、異なる部分のみを記載する等わかりやすい記載とすることが望まれる。

- c) 「G. 2. 1 概要」の中段に「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。」とある。具体的にどのよう

¹⁹¹ 第 4 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 4-2-2「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」回答 24(5)

¹⁹² 第 4 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 4-2-2「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」回答 24(1)

¹⁹³ 第 4 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 4-2-2「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」回答 24(2)

な確認が必要か、日本原子力学会は次のように説明している¹⁹⁴。

既存の 1 群実効断面積ライブラリが準備されている ORIGEN2 コードシリーズにおいては、既存の 1 群実効断面積ライブラリの使用の際には、原子炉型式や燃料組成に応じて炉内で照射される放射化金属等（制御棒、バーナブルポイズン棒などの運転中廃棄物）に対して使用可能と考えます。

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

中性子スペクトルの特性把握について注意事項を明確化することが望まれる。

また、上記に続けて「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。」としているが、文献[40] S.F. Mughabghab, “BNL-325 5th edition”, National Nuclear Data Center Brookhaven National Laboratory (2006).をもって妥当と判断できる理由について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁹⁵。

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

使用する断面積ライブラリは、信頼性が確認された評価済核データライブラリから作成されたものを使用すると明確にすることが望まれる。

d-1) 「G. 2.1 概要」の中性子条件の設定方法について、「a) 個別に条件設定する方法」及び「b) 代表条件を設定する方法」が規定されている。これらの評価結果の同等性について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁹⁶。

中性子条件の設定について、個別の評価対象ごとに詳細設定する場合と複数の評価対象を代表する適切（平均的）又は放射能濃度を大きくするよう保守側に条件設定する場合とでは、以下に示す CB、制御棒などの例のとおり、中性子条件の設定の考え方が異なりますが、いずれにおいても適用する保守性のとりかたによって保守的な評価結果となり、その観点において同等となります。

個別設定：複数の照射履歴をもつ同種の放射化金属（CB、制御棒など）について、照射履歴が特定される個別の評価対象ごとに、個別の中性子フルエンス率、スペクトルを設定する。

¹⁹⁴ 第4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 4-2-2「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」回答 24(6)

¹⁹⁵ 第4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 4-2-2「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」回答 24(3)

¹⁹⁶ 第4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 4-1「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」回答 6

代表設定：複数の照射履歴をもつ同種の放射化金属（CB、制御棒など）について、複数の評価対象を代表する適切（平均的）又は放射能濃度を大きくするよう保守側に条件設定する。

「個別に条件設定する方法」と「代表条件を設定する方法」とでは評価結果が異なると推定されること及び最大放射能濃度を求める場合と総放射能濃度を求める場合とでは条件設定の方法が異なるので、明確にすることが望まれる。また、濃度比法と濃度分布評価法の場合については記載されているが換算係数法の場合は明確でないので、換算係数法の場合の条件設定方法についても明確にすることが望まれる。

- d-2) 「G. 2.1 概要」の「b) 代表条件を設定する方法」には、「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。」とある。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をどのように判断するのか、日本原子力学会は次のように説明している¹⁹⁷。

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

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

平均的な放射能濃度を求める場合と大きな放射能濃度を求める場合を明確にした記載とすることが望まれる。

- e) 「G. 2.1 概要」の後段に「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。」とある。「適用することがある」のはどのような場合か、また、「信頼性のある計算コード」の具体例について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁹⁸。

¹⁹⁷ 第4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 4-2-2「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」回答 24(7)

¹⁹⁸ 第4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 4-2-2「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」回答 24(4)

「D. 5. 2 中性子フルエンス率などの設定方法」の「b) 代表条件を設定する方法」の記載と同様となりますが、「信頼性のある放射化計算コード」のことを指しております。

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

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

「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」という表現については、記載を充実することが望まれる。

- f) 「G. 2. 2 BWR チャンネルボックスの中性子条件の設定例」の「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記載されている。完全な3次元解析の場合と比較した場合の計算手法の適切性について、日本原子力学会は次のように説明している¹⁹⁹。

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

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

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

3次元解析と回転体の2次元解析とでの定量的な比較結果を添付する等、放射能濃度決定標準の記載を充実することが望まれる。

- g) 「G. 2. 2 BWR チャンネルボックスの中性子条件の設定例」の「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。」とあるが、「6. 3. 1. 1 妥当性確認の方法」には注記1において「妥当性確認は、放射化計算方法を周知のテストケース、既に妥当性確認された計算方法などと比較することな

¹⁹⁹ 第4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4-2-2「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」回答25(1)

どで行うことができる。また、放射化計算方法に関する妥当性確認は、AESJ-SC-A008:2015²⁰⁰を参照する」とされていることとの整合性（適切性）について、日本原子力学会は次のように説明している²⁰¹。

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

「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」という記述は、適否の判断無く無条件に採用すると受け取られる可能性があるので記載の適正化が望まれる。

また、上記に続いて「中性子条件については、必要に応じて変動を考慮した。」とある。考慮した変動の内容について、日本原子力学会は次のように説明している²⁰²。

3次元核熱水力解析によって、炉心中央部及び最外周部におけるボイド率で内挿、出力密度補正を行ったことを指しています。

「必要に応じて変動を考慮した」という記載は、「G.2.2 BWR チャンネルボックスの中性子条件の設定例」の例示としては不明確であり、記載の見直しが望まれる。

- h) 「G.2.2 BWR チャンネルボックスの中性子条件の設定例」の「c) 中性子条件設定の考え方」の規定は、「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」とあるが、何を参照して条件設定をするのか記載されていない。これについて、日本原子力学会は次のように説明している²⁰³。

チャンネルボックスを個別に評価するときは個別の配置位置を参考にし、代表で評価するときには附属書Iの「表 I. 11-ZrTN804D (BWR チャンネルボックスの本体) の配置位置の設定」に示すようにグループにおける配置位置を参考にし、放射能濃度評価結果が大きくなるように、代表条件を設定します。

「適用する放射能濃度決定方法の種類」に応じた中性子条件設定の考え方を記載することが望まれる。

- i) 「G.2.3 PWR 制御棒の中性子条件の設定例」の「b) 評価結果」には、「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。」と記載されている。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、日本

²⁰⁰ AESJ-SC-A008:2015 シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン

²⁰¹ 第4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4-2-2「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」回答25(2)

²⁰² 第4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4-2-2「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」回答25(2)

²⁰³ 第4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4-2-2「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」回答25(3)

原子力学会は次のように説明している²⁰⁴。

制御棒の放射能濃度については、附属書 G の「図 G. 13—PWR 制御棒の燃料有効部上端近傍から上方に関する全中性子フルエンス率分布 (2 ループプラントの例)」に示すとおり、制御棒に照射される中性子フルエンス率分布は先端部から 0.75m 以上については先端部から 2 桁以上減衰しており先端部に比べて放射能濃度は十分低くなると考えられることから、制御棒の軸方向のすべてについて位置ごとに評価しないことについては適切です。

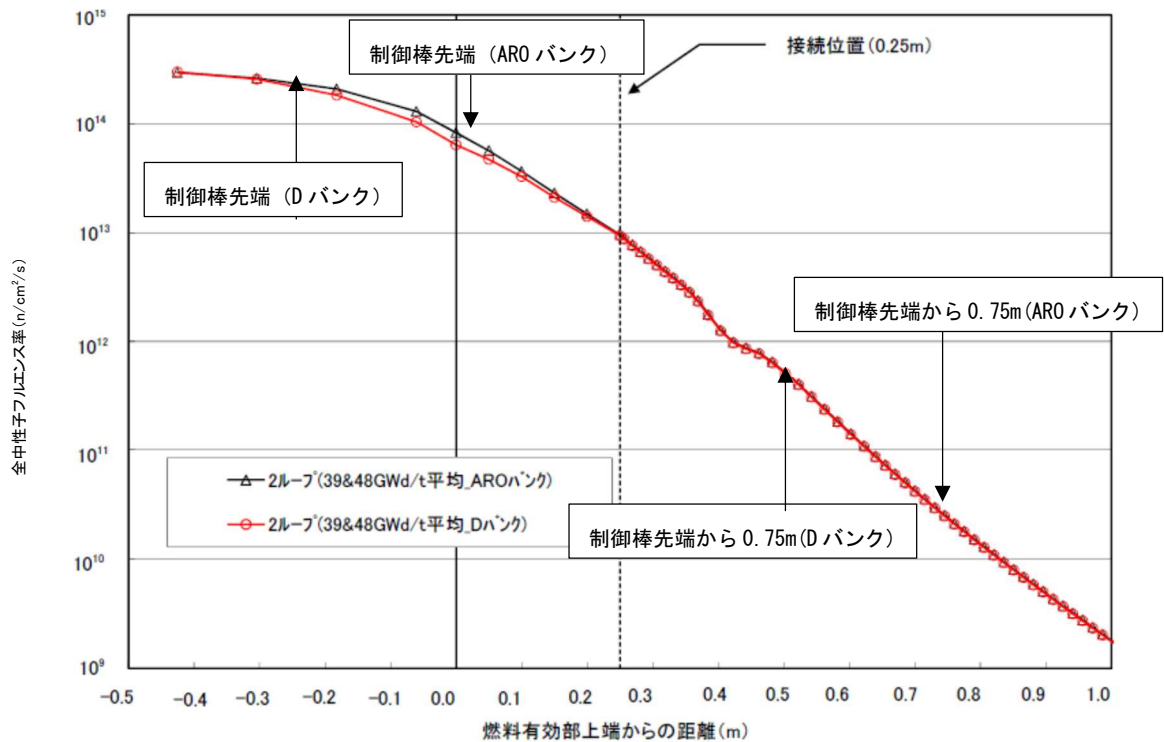
廃棄体の最大放射能濃度を決定する観点からの説明であるが、点推定法を用いる場合を考慮した記載の充実が望まれる。

- j) 「G. 2.3 PWR 制御棒の中性子条件の設定例」の「b) 評価結果」には、上記に続いて、「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 0.75m 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。」と記載されている。「図 G. 13—PWR 制御棒の燃料有効部上端近傍から上方に関する全中性子フルエンス率分布 (2 ループプラントの例)」は横軸が「燃料有効部上端からの距離」とされており、制御棒の先端から 0.75m の位置がどこであるか明確ではない。この位置について、日本原子力学会は次のように説明している²⁰⁵。

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

²⁰⁴ 第 4 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 4-2-2「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」回答 25(5)

²⁰⁵ 第 4 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 4-2-2「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」回答 25(4)



注記 図 G.11²⁰⁶に示す燃料有効部上端 0.25 m までの MCNP による中性子フルエンス率分布の平均値を基に、0.25 m から上方については、二次元輸送計算コード DORT による中性子フルエンス率分布を接続している。

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

図 G.13 は G.2.3 「b) 評価結果」のみに引用されているので、b) の記載内容と図の整合性を図るように記載を充実することが望まれる。

③ 「G.3 照射条件設定における考慮事項」

a) 「G.3 照射条件設定における考慮事項」には、「例」として「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。」とあるが、具体例が記載されていない。「G.3 照射条件設定における考慮事項」の必要性について、日本原子力学会は、以下のように説明している²⁰⁷。

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

²⁰⁶ 放射能濃度決定標準では注記は図 G.12 と記載しているが、文脈からは図 G.11 が正と思われる。

²⁰⁷ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 26

「附属書 G(参考) 放射化計算の入力条件の設定例」に記載する「G.1 元素成分条件の設定例」及び「G.2 中性子条件の設定例」については、表又は図を用いた説明が行われているが、附属書の題目からすれば「G.3 照射条件設定における考慮事項」は「G.3 照射条件の設定例」とし、また、「G.3 照射条件設定における考慮事項」は附属書 D と重複していることから、整理することが望まれる。

8. 附属書 H (参考) 検出困難元素の濃度分布評価方法

- ① 「図 H.1 一検出困難元素の濃度分布評価の基本的な考え方」においては、「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」の理解のために検出困難元素の濃度分布を仮定して設定する方法の例を示しているが、「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」(別添 1 参照) では、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。同図の横軸が元素濃度(log%)ではなく元素濃度(%)であることについて、日本原子力学会は次のように説明している²⁰⁸。

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

利用者に誤解を与えないよう、図 H.1 の横軸は対数座標であることを明確にすることが望まれる。

② 「H.2 基本的な考え方」

- a) 「H.2.1 考え方」では、「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る。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">— 鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データ(濃度分布)は、産地及び種類によらず標準偏差が同程度の対数正規分布を示す。— 検出困難元素の標準偏差は、材料の製造工程(例 添加, 熱処理, 化学処理など)の影響を受けない。 |
|--|

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どのように評価するのか、「種類」とは何を指しているのか、日本原子力学会は次のように説明している²⁰⁹。

「条件を満たすことのできない検出困難元素」の場合は、この設定方法(同一の元素又は化学的性質が類似した元素の既知の濃度分布から設定する方法)は

²⁰⁸ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 27

²⁰⁹ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 28

採用できず、附属書Dの「D. 4. 3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定」に示します「検出下限値」を平均値として適用する方法になります。

また、「種類」とは、収集した分析データの「鉱物・岩石など」の種類で、附属書Hの「表H. 2—収集したC1の元素濃度データの産地及び種類別のデータ群数」などに示しています種類を意味しています。

「D. 4. 3 元素分析データ数量に応じた濃度分布条件設定」においては、「c) 元素分析データ数が非常に少ない場合の設定方法」及び「d) 元素分析データに検出下限値しかない場合」に、検出下限値を平均値として使用する方法と検出下限値以下で濃度分布を仮定する方法を記載しており、上記回答とは異なっている。「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」の考え方について明確にすることが望まれる。

- b) 「H. 2. 2 元素濃度データの収集方法」の「a) データ収集方針」には、「元素濃度データは、検出困難元素の特性などを考慮した種類を、可能な限り広範な産地から、収集する。」とある。どのような特性を考慮に入れることを想定しているか、日本原子力学会は次のように説明している²¹⁰。

まず、どのような特性を考慮に入れるかに関しては、元素濃度データの収集対象とする「鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データ」は、検出困難元素の特性として、「化学的性質」、「放射化金属等の原鉱物及び精錬工程における熱及び化学的影響^{注1}」を踏まえて、天然の鉱物、岩石、精錬後の金属から広く収集することを基本としています。

注 1 化学的影響の一例として、精錬工程での脱硫、脱りんは、反応式 $(S+3(CaO) = (CaS)+0)$ 、及び $(2P+3(CaO) + 5O = 3(CaO \cdot P2O5))$ で示されるようにスラグ-メタル間の化学反応でS及びPが除去されることが挙げられる。

(出典：鉄の高純度化精錬，まてりあ，Vol. 33, No. 1 (1994))

次に、上記の「化学的性質」の考慮すべき内容としては、起源元素の属する周期表上の同じ族としての性質や製造時に受ける化学反応(酸化・還元、スラグ化)に対する性質があげられます。ただし、検出困難元素の濃度分布評価は、『「同一の元素」又は「化学的性質が類似した元素」』への適用を想定していますが、今回の適用事例及び将来的な適用計画においては、「同一元素」のみでの適用を考えております。

さらに、「放射化金属等の原鉱物及び精錬工程における熱影響」の考慮すべき内容は、放射化金属等の母材となるまでの製造工程で受ける表7(1)-1のような温度履歴の影響(「図H. 18—ZrTN804Dの製造工程を考慮したC1, Th及びUの

²¹⁰ 第4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4-1「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」回答7(1)

標準偏差の設定例」及び「図 H. 19-ZrTN804D 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)」などから作成) があります。

表 7(1)-1 材料製造工程中に受ける温度履歴

	SUS の場合	ZrTN804D の場合
原材料・銑鉄工程	熔融還元: 約 1,500~約 2,000°C	—
溶解・精錬工程	溶銑: 約 1,200~約 1,650°C	一次塩化: 約 1,000~1,300°C 真空蒸留分解: 約 900~950°C 真空溶解: 1,700°C以上
加工工程	熱間圧延: 約 1,100~1,250°C	鍛造: 約 850~950°C 熱間押出: 約 650~880°C

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

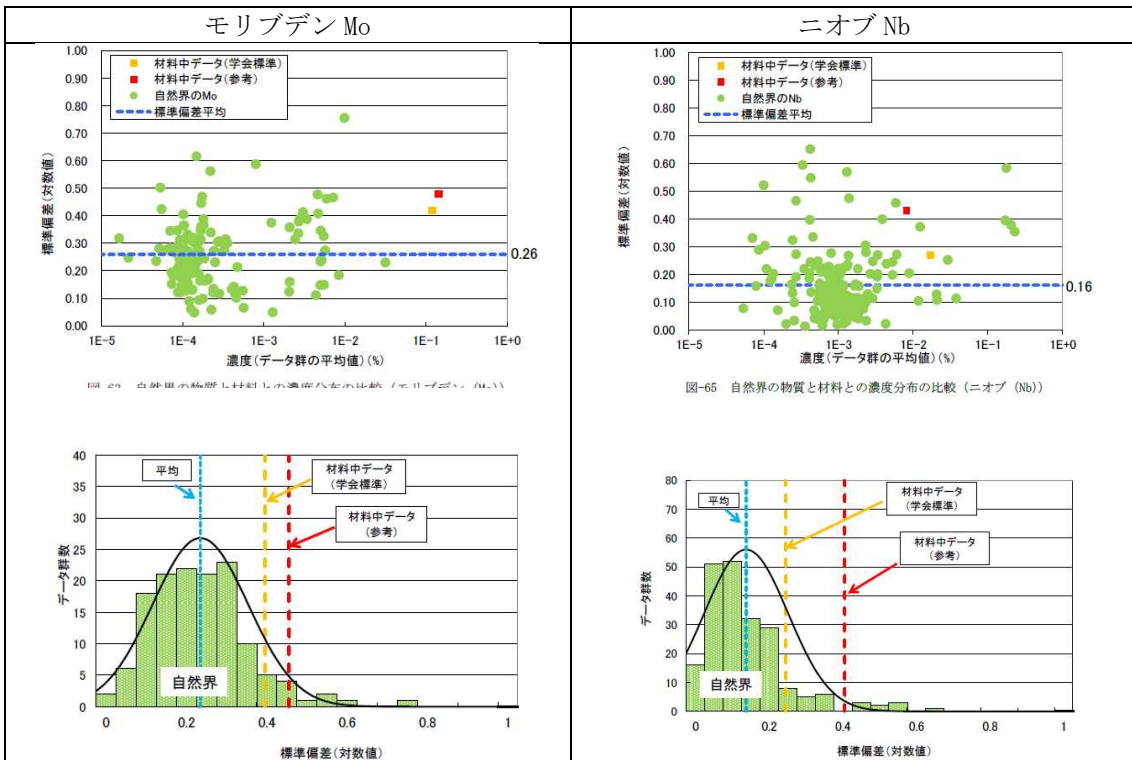


図 7(1)-1 自然界の物質と材料との分布の標準偏差の比較

注記 「材料中データ (参考)」は 8 件の一般文献で収集した SUS304 の元素データ

出典 北海道電力株式会社ほか，“平成 25 年度 検出困難元素の濃度分布評価
について”，平成 26 年 7 月

補足：同一元素に対する適用に関して

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

	SUS の場合	出典
原材料・ 銑鉄工程	溶融還元：約 1, 200 ～約 2, 000℃	焼成工程：約 1, 200℃～岩佐ロータリーキルンパンフレット
		フェロニッケル製造工程：約 1500℃：大太平洋金属株式会社 フェロニッケル製造工程パンフレット
		溶解工程：～約 2000℃：鉄を作るプロセス，化学工学会夢化学委員会
溶解・精 錬工程	溶銑：約 1, 500～約 1, 650℃	溶銑：約 1500℃：ステンレス鋼製造技術の進歩 -新日鉄技法第 351 号(1994)
		精錬：～約 1, 650℃：ステンレス鋼便覧第 3 版(1994)
加工工程	熱間圧延：約 1, 100 ～1, 250℃	ステンレス鋼圧延技術の進歩 鉄と鋼 第 59 年(1973) 第 13 号

例示された図 7(1) - 1 の Mo 及び Nb はステンレス鋼の添加元素であり自然界の分布と比較するものではない。微量元素を含む不純物元素については添加元素との区別をして、検出困難元素の特性として考慮すべきものについて明確にすることが望まれる。

- c) 「H. 2. 2 元素濃度データの収集方法」の「b) 適用除外データ」において、「a) の方針で収集した元素濃度データであっても，検出困難元素の標準偏差の評価に適さないと判断したデータは，除外する。」とされている。「検出困難元素の標準偏差の評価に適さないと判断したデータ」とはどのようなデータを想定しているか、日本原子力学会は次のように説明している²¹¹。

検出困難元素の標準偏差の評価に適さないと判断するデータは、附属書 H の「H. 3. 1 元素濃度データの収集」の「b) 適用除外データ」に示しますように、次のデータがその対象となります。

- － 分析結果の集計値（平均値など）だけが示されている文献は、対数正規分布に関する評価が行えないため、除外する。ただし、対数正規分布による平均値及び標準偏差が示されている場合は除外しない。
- － 元素濃度データが 3 点未満の文献は、標準偏差を算出できないため、除外する。

²¹¹ 第 4 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 4-1 「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」回答 7(2)

- － 生物、液体（海水、地下水など）の元素濃度データに関する文献は、除外する（生物では代謝活動による影響、液体では元素の溶解度などによる影響があり、微量成分元素の元素濃度データとして適切でない可能性があるため）。
- － Th 及び U の元素濃度データに関する文献では、ウラン鉱山及びジルコンに関する文献は、除外する（ウラン鉱山及びジルコンでは、Th 及び U が部分濃集しており、微量成分元素の元素濃度データとして適切でない可能性があるため）。
- － 元素濃度データのデータ群に、検出下限値が含まれていた場合は、該当するデータ群を除外する。

なお、各データ群間の比較（同等性、正規性）を行うため、この統計処理を行う上で、3点未満のデータ群は評価が出来ませんので除外しているもので、データ群の全体統合が可能と評価された段階では、ご指摘のように、収集した評価は可能であると考えます。

ただし、次の d) に示しましたように、データ群のデータ数が 20 点を未満の場合は、データの少なさによるばらつきも大きい状態のため、標準偏差の決定に使用するデータ群としての適用は避けています。

「H. 3.1 元素濃度データの収集」の「b) 適用除外データ」に記載する内容は、放射能濃度決定標準の参考文献「平成 25 年度 検出困難元素の濃度分布評価について」での例を示したものであり、「H. 2.2 元素濃度データの収集方法」の「b) 適用除外データ」においては、検出困難元素の標準偏差の評価に適さないデータと判断する方法は明確でない。検出困難元素の標準偏差の評価に適しないと判断する方法を明確にすることが望まれる。

- d) 「H. 2.3 元素濃度データの適用条件」には、「a) 標準偏差の同等性の確認 鉱物、岩石などからの試料の元素濃度データ（濃度分布）が産地及び種類によらず同程度の標準偏差を示すことを確認する。また、各データ群の標準偏差に濃度依存性がないことも確認する。」とある。同程度であることはどのように評価するのか、当該評価に必要なデータ数について、日本原子力学会は次のように説明している²¹²。

各データ群の標準偏差に濃度依存性がないことの確認ですが、附属書 H の「H. 3.2 元素濃度データの適用性の確認」（略）に示しておりますように、「標準偏差の同等性の確認」及び「対数正規性の確認」によって行います。

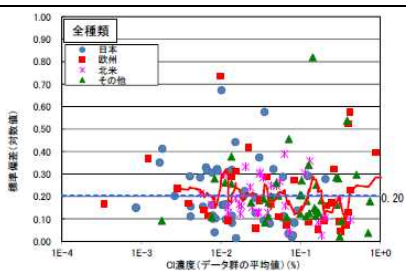
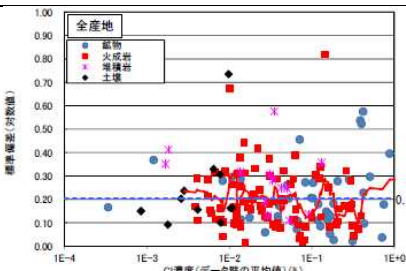
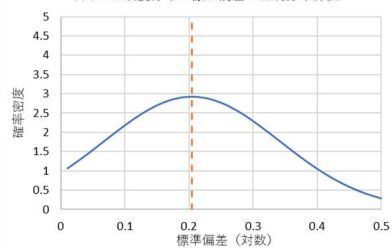
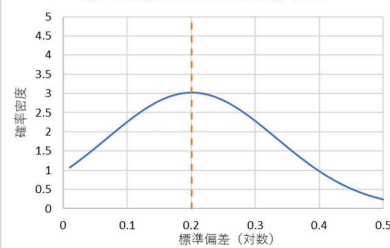
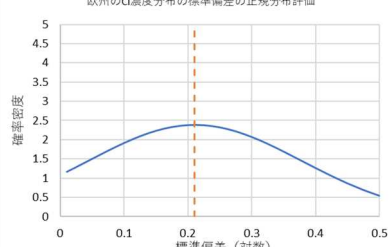
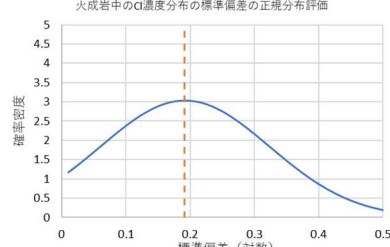
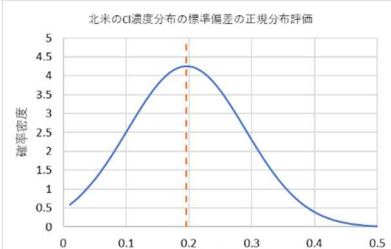
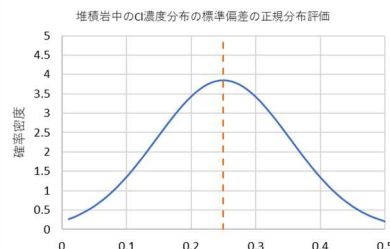
標準偏差の同等性の確認：標準偏差の平均、元素濃度に対する移動平均の濃度依存性のないこと、及び産地、種類ごとの標準偏差を比較して差異が小さいことを確認する。（下図（図 H. 4 に追加したもの）及び表 8-1 参照）

対数正規性の確認：正規性の検討と、平均値・標準偏差が近似的に推定出来る正規確率紙¹⁾上のプロットが、おおむね直線関係にあること。

²¹² 第 4 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 4-1 「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」回答 8

注 1) 正規確率紙による方法, 獣医科学と統計利用, No. 2, 3-6(1978)
 分布型のはなし—正規分布型—, 獣医科学と統計利用, No. 11, 33-37(1978)
 確率分布の適合度の図式判定法について, 土木学会論文集, No. 357, 243-246(1985)

この「標準偏差が同程度であること」を判断するための具体的な判断基準は、次に示します図 H. 4 の標準偏差の産地、種類ごとの比較及び表 8-1 の標準偏差の平均値の比較によって、総合的に判断します。

	産地別の比較 ¹⁾	種類別の比較 ¹⁾
Cl の例	 <p>図 H. 4 より抜粋</p>	 <p>図 H. 4 より抜粋</p>
日本	<p>日本のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p> 	<p>鉱物中のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p> 
欧州	<p>欧州のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p> 	<p>火成岩中のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p> 
北米	<p>北米のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p> 	<p>堆積岩中のCl濃度分布の標準偏差の正規分布評価</p> 

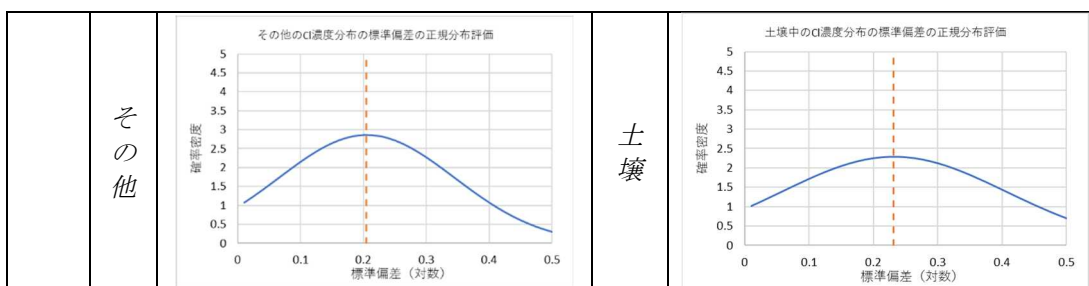


図 H. 4-C1 の全データ群の元素濃度分布及び標準偏差の濃度依存性(産地・種類別の全体図)

(分類区分ごとの標準偏差の分布図は、事業者から提示された平均値と標準偏差のデータを使用して作図)

出典 北海道電力株式会社ほか，“平成 25 年度 検出困難元素の濃度分布評価について”，平成 26 年 7 月

注 1 分散分析の結果では、各グループ間での有意差なしと評価されている。

表 8-1 塩素、トリウム及びウランのデータ群の標準偏差及び標準偏差の平均値

元素	塩素 (Cl)	トリウム (Th)	ウラン (U)
データ群の標準偏差 (データ数が 5 点以下のデータ群を除いた場合)	0.01~0.82 (0.01~0.46)	0.01~0.51 (0.03~0.44)	0.02~0.63 (0.03~0.63)
標準偏差の平均値	0.22	0.22	0.19
区分(産地/種類)ごとの 標準偏差の平均値	0.19~0.25	0.15~0.24	0.19~0.24

出典 北海道電力株式会社ほか，“平成 25 年度 検出困難元素の濃度分布評価について”，平成 26 年 7 月

次に、「必要なデータ数」に関してですが、標準には示しておりませんが、図 H. 4 及び表 8-1 の評価には、統計値(標準偏差)が算出できるデータ数として 3 点以上のデータ群によって評価を行っています。

また、最終的には、上記確認を行った上で、検出困難元素の濃度分布の設定に必要となります標準偏差を決定するための基礎データとする各データ群の必要なデータ数としては、下図(図 H. 21)に示しますデータ数の増加による統計値の安定性を評価した結果から、標準には規定していませんが、データ数が 20 点以上のデータ群だけを、検出困難元素の濃度分布の評価用の標準偏差の設定に適用しています。

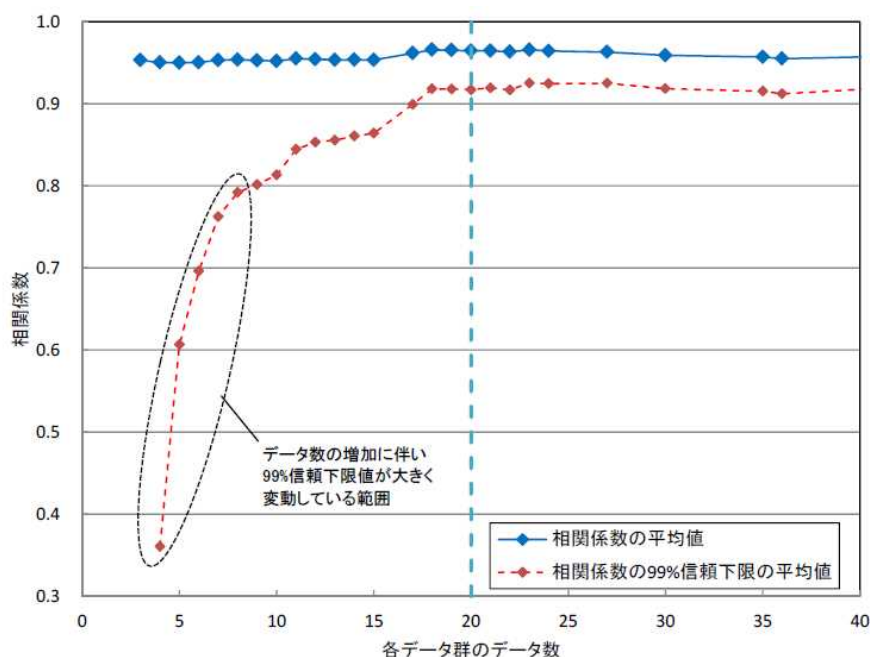


図 H. 21-C1 の各データ群の相関係数の平均と相関係数の 99%信頼下限値の平均との関係

「H. 3.2 元素濃度データの適用性の確認」に記載する内容は、放射能濃度決定標準の参考文献「平成 25 年度 検出困難元素の濃度分布評価について」での例を示したものであり、「H. 2.3 元素濃度データの適用条件」においては「a) 標準偏差の同等性の確認」の方法は明確でない。標準偏差の同等性の確認方法を明確にすることが望まれる。また、必要なデータ数についても明確にすることが望まれる。

- e) 「H. 2.3 元素濃度データの適用条件」の「c) 材料の製造工程の影響の確認」において引用する「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場合の材料のフローが記載されていないが、「図 H. 17-SUS304 の製造工程及び製造工程中の C1, 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) 材が含まれている。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る。循環性元素の濃度分布評価方法について、日本原子力学会は次のように説明している²¹³。

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

なお、この鋼材中の起源元素の濃度分布の設定においては、基本的な考え方に沿った濃度分布 (正規分布及び対数正規分布) での評価で進めますが、まくまで

²¹³ 第 4 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 4-2-2「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」回答 29(1)

も鋼材（品質保管サンプルが主体）の元素分析データで確認を行うこととしておりますので、この段階で検出できる元素は把握されます。

「H. 2. 1 考え方」においては、鉱物、岩石、土壌、堆積物などの試料による元素濃度データを利用するとしており、スクラップ材の混入元素が考慮されていない。「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」の出典である参考文献「平成 25 年度 検出困難元素の濃度分布評価について」は、スクラップ材を考慮していないので、そのまま適用するものではない。「c) 材料の製造工程の影響の確認」においては、スクラップ材の影響を考慮した記載とすることが望まれる。

f) 「H. 2. 4 検出困難元素の濃度分布評価方法」の「a) 利用する元素濃度データの選定」において、「1) 元素濃度データの代表性」には「検出困難元素の標準偏差の設定に利用する元素濃度データは、鉱物、岩石などからの試料を適切に代表している（標準偏差に産地・種類・濃度の依存性がないなど）、又は設定する標準偏差の特性などを鑑みた適切な範囲から収集されていることを、あらかじめ確認しておく必要がある。」とある。下線部の「鉱物、岩石などからの試料を適切に代表している」及び「設定する標準偏差の特性などを鑑みた適切な範囲から収集されている」の適切な範囲について、日本原子力学会は、以下のように説明している²¹⁴。

附属書 H の「表 H. 3- 収集した Th の元素濃度データの産地及び種類別のデータ群数」（略）に示しますように、全て検出下限値を含まないデータで、種類及び産地を広く収集できていることによって評価します。

この評価指標の区分としました「産地」及び「種類」ですが、下記の観点で分類した指標となっています。

産地：可能な限り広範な産地から元素分析データを収集して影響を把握するため、日本及び大陸別で分類した収集対象とした。

種類：可能な限り広範な環境条件から元素分析データを収集して影響を把握するため、各種材料の原材料である鉱物に加え、岩石（火成岩、堆積岩）及び河川などの堆積物、土壌を収集対象とした。

具体的には、標準には示しておりませんが、鉱物、岩石などからの試料を適切に代表している点に関しまして、産地に関しては、表 9-1^[1]に示しました広範囲の分類区分のデータを収集することで、種類に関しても、表 9-2^[1]に示しました広範囲の分類区分のデータを収集することで、代表性を確保しています。

なお、この考え方を踏まえて、附属書 H の「H. 2. 1 考え方」に示します検出困難元素の特性（放射化金属等の原鉱物及び精錬工程における熱及び化学的影響、化学的性質）を踏まえて、天然の鉱物、岩石、精錬後の金属から収集することを

²¹⁴ 第 4 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 4-1 「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」回答 9

踏まえたものとなっています。

出典[1] 北海道電力株式会社ほか，“平成 25 年度 検出困難元素の濃度分布評価について”，平成 26 年 7 月

表 9-1 産地の分類区分表

分類1	分類2	分類3	分類4*1	分類5
日本	日本	日本	(都道府県)	北上山地
			岩手県	雲仙
			熊本県	南牧川流域
			群馬県	足摺岬エリア
			高知県	秋田鉱山
			秋田県	大崩山(主岩)
			大分県	大崩山(環状岩)
			大分県	高遠町北部地域
			長野県	神戸市
			兵庫県	虹田鉱山
			北海道	
北米	カナダ	Abitibi緑色岩地帯	北魁北火山地域、並びにGuevillon, Val-d'Or, Normetal, Joutel, Sebaie, Matagami, Hunter, Noranda, Bousquet, Gemini-Turgeon及びChibougamauの各地域]	
		オンタリオ州	(Clergue Township, Midlothian Township, McCool Township, German Township, Bartlett-Goske Township, サドバリー)	
		ケベック州	Pamblac 郡	
		サスカチュワン州	Cantuar	
		ニューファンドランド州	Lewis Hills	
		ニューブランズウィック州	南西部	
		ノースウエスト準州		
		ブリテンジューロンビア州	Telegraph Creek area	
		ユーコン準州	(南西部、西部)	
	米国	アイオワ州	Sioux	
		アイタホ州	American Falls	
		アラバマ州		
		イリノイ州	hardin	
		ウィスコンシン州	(Calumet, Iron)	
		ウエストバージニア州	(Brooke, Ohio, Wayne)	
		オクラホマ州	Birch Lake area	
		カリフォルニア州	(サンフランシスコ郡, Eureka Valley, Clear Lake地域)	
		カンザス州	(Friedrich, Finn, OZ, Poersch)	
		カンタッキー州	Fulton	
		コロラド州	(El Paso郡, Jefferson郡)	
		ジョージア州	ビエメント	
		テキサス州	(Llano郡, 西部)	
		テキサス州		
		ニューメキシコ州	(Santa Fe, サンファン郡)	
		ニューヨーク州	(Rockland, Genesee)	
		ノースカロライナ州	Surry	
		バージニア州		
		バーモント州	(Grand Isle, Chittenden, Grand Isle)	
		コロリダ州	Hillsborough	
		ペンシルバニア州		
		モンタナ州	(Alger, Dickinson, Keweenaw, Greenstone Flow)	
		ミネソタ州	(Merritt hole, Arko hole, Duluth)	
		メイン州	Sagadahoc	
		ユタ州	(Bingham District, 南西部, Uintah郡, トウーイル郡)	
		ワイオミング州	(ララミー, Iron Mountain, Leucite Hills)	
		ワシントン州	Mount St. Helens	
		北太平洋(沿岸)	ファン・デ・ワカ	
欧州	ハンガリー北部火山域	ハンガリー北部火山域	ハンガリー北部火山域	
	アイスランド	アイスランド	シクパベドリ	
	アイスランド	アイスランド	アイスランド	
	イタリア	Valençiana	Valsugana	
	トリエンツ州	Cima d'Asa-Caoria		
	アブルツォ州	グラン・サツ		
	カンパニア州	カンパニア州		
	イタリア	(ストロニートリ, Vulcano島, Lipari島)		
	ギリシャ	ギリシャ	(サントリーニ島, シロス島)	
	グリーンランド	グリーンランド	南グリーンランド	
	スイス	スイス	Mont Russelin	
	スウェーデン	スウェーデン	ストックホルム県	
	アンタルシア州	アンタルシア州	アルメリア県	
	ウエルバ	Neron		
	カナリア諸島州	グラン・カナリア島		
	ソ連			
	ロシア	イルクーツク州	スリジャンカ	
		サハ共和国	キクーチア	
	フィンランド	フィンランド南部	フィンランド南部	
	ポルトガル	ポルトガル中央部	ポルトガル中央部	
	大西洋	大西洋	Iberian Abyssal Plain	
	ティレニア海	ティレニア海	ティレニア海	
その他	イラン	イラン	イラン北西部	
	ヤスト州	バーフク郡		
	インド	マドラス州	セーラム県	
	アッサム州	アッサム州	カリシュナ県	
	インドネシア	インドネシア	Bario	
	インド洋	インド洋	南西インド洋海嶺	
	オーストラリア	ニューサウスウェールズ州	(ローズヒル, ストラトフォード)	
	ケニア	ケニア	ナクル=ナイバシヤ地域	
	ジャマイカ	ジャマイカ	ジャマイカ	
	スリナム	スリナム	スリナム	
	チリ	Los Lagos Region	Fresia	
		Mantos de Oro	Chimberos	
	ハフアニューギニア	Manus海嶺東部		
	ハワイ諸島	ハワイ諸島	(オアフ島, カウアイ島, ハワイ島, マウイ島)	
	ブラジル	ブラジル	ブラジル	
	ベネズエラ	ベネズエラ	ベネズエラ	
	ペルー	ペルー	イカ県	
	ロシア(極東)	クリル諸島	クリル諸島	
		カムチャツカ	(Sredinny Ridge, 東カムチャツカ火山帯)	
	西インド諸島	西インド諸島	西インド諸島	
	太平洋	太平洋	(Iness deep rift valley, Guatemala Slope)	
	大西洋	大西洋	(MAR-Kona, MAR-FAMOUS)	
	中国	湖南省	南岳衡山	
		江蘇省	溧水市	
		浙江省	龍泉市	
		遼寧省	北票市	
		甘肅省	(Yindongzi-Daxigou, Tongmugou)	
		江西省	銀山(Yinshan)鉱床	
	南アフリカ共和国	Koffiefontein	Koffiefontein	
	南極	セルゲイネ山地	セルゲイネ山地	

*1 分類 5 の情報が無く、かつ、分類 4 のみが異なる産地については分類 4 内

に括弧書きで示した。

出典；北海道電力株式会社ほか，“検出困難元素の濃度分布評価について”，平成26年7月

表 9-2 種類の分類区分表

分類1	分類2	分類3	分類4*1	分類5	
鉱物	イソケイ酸塩鉱物	角閃石グループ	(普通角閃石、ハロウ閃石、パーカス閃石)		
		輝石グループ	エジリン輝石		
	テクトケイ酸塩鉱物	柱石			
		長石	(長石、アルカリ長石、斜長石、玻璃長石)		
	ネソケイ酸塩鉱物	かんらん石			
	フィロケイ酸塩鉱物	雲母	(雲母、金雲母、黒雲母)		
		緑泥石グループ			
	リン鉱物	ミネット鉱			
	リン酸塩鉱物	燐灰石グループ	燐灰石		
	酸化鉱物	スピネルグループ			
		ルチルグループ	バデライト		
		SiO ₂ 鉱物	石英		
	炭酸塩鉱物	苦灰石グループ	苦灰石		
	硫化鉱物	輝安鉱グループ	輝安鉱		
		濃紅銀鉱			
	アルミニウム鉱石	ボーキサイト			
	鉄鉱石	褐鉄鉱			
		鉄鉱石			
		火山ガラス			
		鉱床試料			
	火成岩	深成岩	gladesville斑れい岩		
			metatonalite		
			アブライト		
かんらん岩			(かんらん岩、タンかんらん岩、蛇紋岩化かんらん岩)		
キンバーライト					
花崗岩			(花崗岩、黒雲母花崗岩、モンソ花崗岩)		
花崗閃緑岩			花崗閃緑岩		
			高遠花崗閃緑岩	黒雲母花崗閃緑岩	
			角閃石黒雲母花崗閃緑岩		
			黒雲母花崗閃緑岩		
			蛇紋岩		
			深成岩類風化土壤		
			閃長岩		
			閃緑岩		
			斑れい岩		
		斑岩	(斑岩、角閃石黒雲母花崗岩斑岩)		
		俊白花崗岩			
火山岩		シオンナイト			
		デイサイト			
		テフライト			
		ラタイト			
		ランプロアイト			
		安山岩			
		輝緑岩			
		珪長岩			
		玄武岩			
		玄武岩質安山岩			
		粗面ドレライト			
		粗面岩			
		粗粒玄武岩			
		流紋岩			
		火山砕屑岩	凝灰岩	(凝灰岩、溶結凝灰岩)	
変成岩(交代変成岩)					
変成岩(広域変成岩)		エクロジャイト			
		結晶片岩	(結晶片岩、葉状片岩)		
		砂泥質片麻岩			
		千枚岩	変質千枚岩		
		片麻岩			
		緑色岩			
変成岩(接触変成岩)		珪岩			
		閃緑岩			
		変斑れい岩			
変成岩		変成安山岩			
		変成玄武岩			
堆積岩		砕屑岩	角礫岩		
			砂岩		
			泥岩	(泥岩、シルト岩、泥灰岩、粘土岩)	
			粘板岩		
			頁岩		
		粘土岩	ベントナイト		
		頁岩			
		変成岩(広域変成岩)	角閃岩		
			結晶片岩	(結晶片岩、泥質片岩)	
		片麻岩			
堆積物(河 土壌)	河川堆積物				
	Aiken土壌統				
	Altamont土壌統				
	Holland土壌統				
	Imperial土壌統				
	Kettlemen土壌統				
	Maymen土壌統				
	Merced土壌統				
	Watsonville土壌統				
	チェルノーゼム				
	ラトソル				
	暗栗色土				
	黄色土				
	褐色森林土				
	黒ぼく土				
	砂丘レゴソル				
	砂土				

*1 分類5の情報が無く、かつ、分類4のみが異なる種類については分類4内

に括弧書きで示した。

出典；北海道電力株式会社ほか，“検出困難元素の濃度分布評価について”，平成26年7月

「H. 3. 1 元素濃度データの収集」の「c) データ群の作成」に記載する内容は、放射能濃度決定標準の参考文献「平成25年度 検出困難元素の濃度分布評価について」での例を示したものである。「設定する標準偏差の特性などを鑑みた適切な範囲から収集されている」の適切な範囲については示されていない。また、対象廃棄物の化学成分としては当該原料の産地のデータに限定する方が、データの信頼性が高まると予想される。「H2. 4 検出困難元素の濃度分布評価方法」の「a) 利用する元素濃度データの選定」において、「1) 元素濃度データの代表性」の「鉱物、岩石などからの試料を適切に代表している」及び「設定する標準偏差の特性などを鑑みた適切な範囲から収集されている」の適切な範囲については明確にすることが望まれる。

- g) 「H2. 4 検出困難元素の濃度分布評価方法」の「b) 平均的な標準偏差の設定方法」において、「図 H. 3ー平均的な標準偏差の設定方法のイメージ図(例)」が示されている。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、日本原子力学会は次のように説明している²¹⁵。

図の横軸(標準偏差)は、対数正規分布の場合は対数で、正規分布の場合は実数を意味しています。(あくまでも模式図ですので、横軸を単に標準偏差として簡易に示しています)

対数正規分布の場合及び正規分布の場合に併用できる図とするのであれば、横軸は対数又は実数(真数)であることを明確にすることが望まれる。

- h) 「H2. 4 検出困難元素の濃度分布評価方法」の「c) 検出困難元素の濃度分布評価」において、「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、(略)を利用して設定する。濃度分布の上限値の位置(例 濃度分布の上限値=平均値+2 σ の濃度)は、放射化計算で得られる廃棄物濃度の保守性を踏まえ、適切に設定する。」とある。濃度分布の上限値設定の具体的方法について、日本原子力学会は次のように説明している²¹⁶。

入力条件を設定するための濃度分布の上限値の位置(すなわち、標準偏差を踏まえて定める平均値の位置との差)は、放射化計算で得られる廃棄物濃度の保守性を考慮すると、元素分析条件は、平均値は高く、標準偏差は小さく評価することによって、より保守性が得られるため、次のような考え方で附属書 D の「表

²¹⁵ 第4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4-2-2「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」回答29(2)

²¹⁶ 第4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4-2-2「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」回答29(3)

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」(別添1参照)に示す濃度分布条件設定方法及び分析数に応じて、設定平均と標準偏差に保守性を加えて設定します。

この保守性の例としては、下記のような例が考えられます。

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

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

検出困難元素の濃度分布上限値の設定方法について明確にすることが望まれる。

- i) 「H. 2.5 化学的性質が類似した元素濃度データの利用」において、「評価対象とする検出困難元素が、不純物成分元素又は微量成分元素であれば、検出困難元素の元素濃度データの一部に、評価対象とする検出困難元素と化学的性質が類似した元素の濃度データを加えることも可能である。」とされている。具体的にどのように選定するかについて、日本原子力学会は、以下のように説明している²¹⁷。

「化学的性質が類似」とは、起源元素の属する周期表上の同じ族としての性質、や製造時に受ける化学反応(酸化・還元、スラグ化)に対する性質があげられません。

ただし、放射能濃度決定標準では検出困難元素の濃度分布評価は、『「同一の元素」又は「化学的性質が類似した元素」』を適用範囲としていますが、実際の適用事例及び将来的な検出困難元素の濃度分布評価への適用計画においては、「同一元素」に対する適用のみを考えております。

このため、「類似していること」に対する判断基準は、示しておりません。

日本原子力学会の回答を踏まえれば、「H. 2.5 化学的性質が類似した元素濃度データの利用」は不要となるので、削除する方向で検討することが望まれる。

③ 「H. 3 検出困難元素の濃度分布の評価例」

- a) 「H. 3 検出困難元素の濃度分布の評価例」には、「平成25年度 検出困難元素の濃度分布評価について」にて行われた Cl, Th, U の評価方法及びその結果が示されているが、これらは鉱物中及び部材中に含有量が比較的多い元素になる。この方法のその他の元素への適用性について、日本原子力学会は次のように説明している²¹⁸。

鉱物、岩石などからの試料の分析データを利用して、検出困難元素の元素濃度分布を評価する方法は、適用対象元素を Cl, Th (微量成分元素)、U (ZrTN804D では不純物成分元素、SUS304 では微量成分元素) の検出が難しい元素に限った

²¹⁷ 第4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4-1「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」回答10

²¹⁸ 第4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4-1「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」回答11

ものでなく、対象元素の特性（化学的性質、放射化金属等の原鉱物及び精錬工程における熱及び化学的影響）を考慮した分析データ収集結果（検出下限値を含まないデータ）に基づいて評価する方法です。

このため、上述の②d)での元素濃度データの適用条件に示しました「標準偏差の同等性の確認」「対数正規性の確認」及び「材料の製造工程の影響の確認」を行うことで、その他の元素にも適用できます。

なお、この「検出困難元素の濃度分布の評価」は、検出困難な元素が対象（特に、検出限界値しか得られなかった元素）に対して適用するものです。このため、「製造管理により部材中の含有範囲の狭い元素」に関しましては、主成分元素と考えられますので、適用は想定しておりません。

また、部材中の含有量の少ない元素として、放射能濃度決定標準で例示しました下記の評価対象核種（附属書G参照）の条件では、起源元素のうち、「Cl, Th 及びU」が検出困難元素としての適用対象元素であり、その他の元素は、検出できる可能性のある元素のため、「Cl, Th 及びU」が対象となります。

評価対象核種： ^{14}C , ^{36}Cl , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{129}I , ^{137}Cs , 全 α

将来的に、申請核種が決まった段階で、新たな起源元素が検出困難元素となった場合は、「Cl, Th 及びU」と同じ手順で文献データを収取した上で、適用性を判断することとなります。

過去の検出困難元素も分析技術の進歩により検出可能となることも考えられるので、起源元素のうち、何が検出困難元素としての適用対象元素であるかを明確にすることが望まれる。

9. 附属書 I（参考） 濃度比を用いる場合の計算例

① 「I.1 基本的な考え方」

a) 「I.1.4 適用方法」の「a) Key 核種の選定」において、次の1)又は2)のいずれかに適合する Key 核種を選定するとしている。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及び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について、日本原子力学会は次のように説明している²¹⁹。

- | |
|--|
| 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。 |
|--|

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

このため、当たり前の条件ですが、選定方法ごとの条件として記載したもので、

²¹⁹ 第4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 4-2-2「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」回答 31(1)

放射化計算によって算出できない核種を想定しているものではありません。

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

日本原子力学会の回答を踏まえると、「次の 1) 又は 2) のいずれかに適合する Key 核種」よりは「次の 1) 及び 2) に適合する Key 核種」の方が適切と思われることから、記載を見直すことが望まれる。

- b) 「I. 1. 4 適用方法」の「c) 濃度比の決定方法」の「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は、ISO 21238:2007²²⁰に示されている適切なデータ数の取得の考え方を踏まえた次の判断を適用できる。」とし、その判断について「得られた放射化計算結果の数に応じた放射化計算結果群（データベース）が示す統計値の安定性に関して、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。」としている。「適切なデータ数の取得の考え方」について ISO 21238:2007 に示されている内容、及び「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について、日本原子力学会は次のように説明している²²¹。

日本原子力学会への説明依頼事項（その 1）への回答の回答 6（4）を参照ください。（「II. 附属書に関する気付き事項」の「4. 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」の「④「D. 2 放射化計算の入力条件の基本設定フロー」」e)）の回答を参照ください。また、判断基準ですが、第 3 回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答の回答 13（4）の追加質問（放射化計算の充足数として、40 点で良いのかへの回答（上記 ②j）を参照願います。

「適切なデータ数の取得の考え方」について、定量的な判断基準を追加することが望まれる。

② 「I. 2 計算例」

- a) 「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 が選定されていることについて、日本原子力学会は次のように

²²⁰ ISO 21238:2007 Scaling factor method to determine the radioactivity of low- and intermediate-level radioactive waste packages generated at nuclear power plants

²²¹ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 31（2）

説明している²²²。

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

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

例示として適用した放射化計算コードが複数ある場合は、その選定理由を記載することが望まれる。

- b) 「I.2.2.1.2 元素成分条件の設定」の「表 I.3-各元素の元素分析データ収集結果 (ZrTN804D)」(別添 1 参照) 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」とあるが、平均値を加算する意味について、日本原子力学会は次のように説明している²²³。

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

「表 I.3-各元素の元素分析データ収集結果 (ZrTN804D)」において、対数正規分布の平均値及び標準偏差は対数値を括弧付き表示、真値(実数値)を括弧なし表示としているが、元素 N の対数値を正として標準偏差（平均値+1 σ ）の真値を逆算すると、対数での平均値が-2.5、標準偏差が 0.08 であるので、 $10^{(-2.5+0.08)}=3.80 \times 10^{-3}$ となり、同表に記載する 3.7×10^{-3} とは一致しない。対数正規分布であれば対数値が正と思われるが、併記する場合は真値と対数値のどちらが優先されるか明確にすることが望まれる。

- c) 「I.2.2.1.2 元素成分条件の設定」の「表 I.6-実際の元素分析データを踏まえ設定した濃度分布基本形状」において、Ni、Cu とともに「基本的考え方による設定」は対数正

²²² 第 4 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 4-2-2「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」回答 32

²²³ 第 4 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 4-2-2「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」回答 33(3)

規分布だが、「実際の元素分析データを踏まえた設定」は正規分布となっている。「基本的考え方による設定」の位置付け及びNi、Cuの元素分析データを踏まえた分布形として対数正規分布を採用しない理由と考え方について、日本原子力学会は次のように説明している²²⁴。

「主要成分元素」は、組成調整が行われますが、その他の「不純物成分元素」及び「微量成分元素」は、組成調整は行われなため、基本的には、本来の元素濃度の分布である対数正規分布が維持されます。

この元素濃度の分布の基本的考え方は、別紙「II. 附属書に関する気付き事項」の「4. 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」の⑥h)の回答に示しましたように附属書 G の「G. 1. 2. 3. 2 各元素の濃度分布基本形状の設定例」(略)の考え方(「表 G. 13—元素の濃度分布を対数正規分布として扱う例」(別添 1 参照))です。

しかしながら、「不純物成分元素」に関しては制限値があり、精錬過程において制限値を満足させるための管理(除去)が行われ、分布が歪むことも考えられますので、分布形状の評価に当たっては、標準では「6. 1. 2. 2. 3 起源元素の成分条件の設定方法」(略)に示すように分析データによる元素成分の入力用のデータには、分布形状を踏まえた設定を求めています。

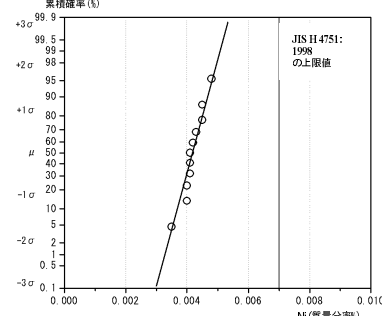
このため、元素成分条件の入力データ設定用の濃度分布の評価及び設定を行うために、次のステップで評価を行います。

① 分析データの収集、正規性の評価段階：分析データを収集し、附属書 D の「表 D. 4—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」(別添 1 参照)に示す元素の濃度分布の基本形状(正規分布又は対数正規分布)を適用して分布形状の評価(平均、標準偏差、正規性)を進める。

② 入力データ設定用分布の設定段階：放射化計算用の入力データを選定するために設定する濃度分布は、収集した分析データが示す最も適切となる分布形状を確認して設定する。

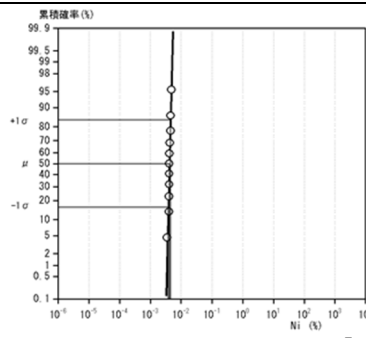
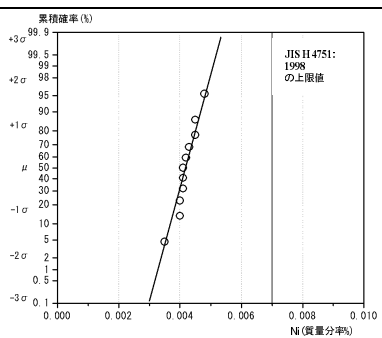
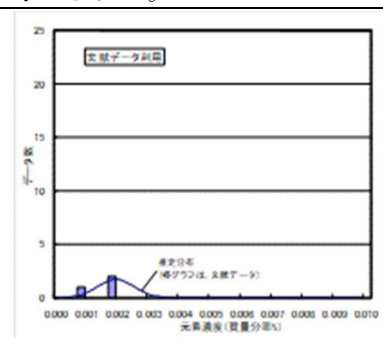
この結果、ジルカロイのNi、Cuに関しては分析結果の分布の実態を踏まえて、下表(「表 I. 6—実際の元素分析データを踏まえ設定した濃度分布基本形状」に朱書き部を追記したもの)に示すように、分布形状を「正規分布」としたものです。

²²⁴ 第4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 4-1「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」回答 12

材 料		ZrTN804D	
元 素		Ni	Cu
元素成分の区分		不純物成分元素	不純物成分元素
基本的な考え方による設定		対数正規分布	対数正規分布
実際の元素分析データを踏まえた設定		正規分布	正規分布
理 由	濃度分布の推定範囲 ($\pm 3\sigma$)	質量分率 $2.9 \times 10^{-3} \%$ ～質量分率 $7.1 \times 10^{-3} \%$ (約 2.5 倍)	質量分率 $2.7 \times 10^{-4} \%$ ～質量分率 $3.7 \times 10^{-3} \%$ (約 14 倍)
	実際の元素分析データの分布	 <p>濃度範囲が非常に狭く ($\pm 3\sigma$ でも 2.5 以内), 上図の正規確率紙上でも, 正規性を示したため。</p>	基本的考え方から選択した“対数正規分布”を仮定すると, JIS 規格で規定されている上限値 (不純物成分元素としての許容範囲) を大幅に超えてしまうため, 正規分布を適用した。

基本的考え方とは異なる分布形状を適用した Ni 及び Cu に関して、基本的考え方に沿って評価した結果と、分析データの実態を踏まえて決定した分布形状の評価結果に関して、表 12-1 に示します。

表 12-1 Ni 及び Cu の対数正規性と元素分析データに基づく分布の決定

		Ni	Cu
基本的な考え方に基づく、分布形状の評価	対数正規分布による評価	 <p>[1]</p>	<p>—</p> <p>(3 点のデータ (0.001%, 0.002%, 0.002%) で、かつ 2 点と同じ濃度のため、対数正規確率図が作成できない)</p>
	分析結果の範囲	<p>収集データ数：11 点 (分析値)</p> <p>平均濃度：4.2×10^{-3} %</p> <p>濃度範囲：3.5×10^{-3} % ~4.8×10^{-3} % (約 1.4 倍)</p>	<p>収集データ数：3 点 (文献値)</p> <p>平均濃度：1.6×10^{-3} %</p> <p>濃度範囲：1.0×10^{-3} % ~2.0×10^{-3} % (約 2 倍)</p>
	判断	<p>分析結果の濃度範囲が非常に狭く (最大/最小で 1.4)、数桁での範囲の分布評価に適用性を示す対数正規分布ではなく、実数軸範囲での正規分布の評価の方が適切と考えられた。</p>	<p>濃度範囲も狭く、ジルカロイ 4 の JIS 規格 (JIS H 4751) の Cu 制限値である 0.005% 以下に対して、対数正規分布を当てはめると「平均 + 3σ」の濃度で 0.0053% と材料規格の制限値を超えてしまう分布となり、対数正規分布ではない方が適切と考えられた。</p>
分析実績を踏まえた入力用成分条件 (濃度分布) の設定	正規分布による評価 (標準から抜粋)	 <p>(表 I. 6 より抜粋)</p>	 <p>(図 I. 5 より抜粋)</p>
	判断	<p>濃度範囲が非常に狭く、正規確率紙上でも、正規性を示す。</p>	<p>濃度範囲が狭く、正規分布の方がより適切。</p>
	適用分布	正規分布	正規分布

出典 1 事業者より提示を受けた対数正規確率紙プロット図

ZrTN804D の Cu について、「対数正規分布」を仮定すると、JIS 規格で規定されている上限値 (不純物成分元素としての許容範囲) を大幅に超えてしまうため、正規分布を適用した」と記載しているが、不純物元素は上限値があるので上限ありの対数正規分布として扱うことも検討することが望まれる。Ni についても対数正規分布を否定するものではないことから、上限ありの対数正規分布として扱うことも検討する

ことが望まれる。

- d) 「I. 2. 2. 1. 2 元素成分条件の設定」の「d) 各元素の濃度分布条件の設定」では「2) 元素分析データ数が非常に少ない元素」において、なお書きに「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。」とある。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）を設定し、95%としない根拠について、日本原子力学会は次のように説明している²²⁵。

附属書 I の I. 2. 2. 1. 2 での設定の例は、附属書 D の「表 D. 5—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」（別添 1 参照）に示します「検出値を平均値として使用する方法」に、さらに保守性を考慮した標準偏差（分布を広めに設定する）の適用例を示したものです。

この標準に示しております標準偏差への保守性を見込み方に関して、標準に掲載しています分析データ（附属書 I の「表 I. 3—各元素の元素分析データ収集結果（ZrTN804D）」（別添 1 参照）及び「表 I. 4—各元素の元素分析データ収集結果（SUS304）」）の対数正規分布で評価している下記の元素のデータの標準偏差を例に、標準で言及している例としての標準偏差の設定の考え方と設定標準偏差を示します。

標準偏差の試算例に適用した元素

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

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

保守的な標準偏差の設定の考え方と適用試算例

標準偏差の設定方法	条件設定の考え方 (保守性の考え方)	設定標準偏差 (対数)
標準偏差の平均値 (基本)	収集したデータ群の標準偏差の平均値で設定するもの。 (データ数が十分にある場合)	0.3
平均標準偏差の 信頼上限値	保守性は、平均に対して見込み、99%信頼上限の標準偏差で設定する保守性を見込むもの。	0.4
小さいほうから 90%の 範囲を包含する 標準偏差	保守性は、標準偏差の平均 (0.3) に対して、標準偏差の小さい方から累積を取った場合の 90%を超える (計算例では 93%) 標準偏差	0.5

²²⁵ 第 4 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 4-2-2「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」回答 33(1)

	(0.44)を適用することで見込む。(例では丸めて適用)	
標準偏差の分布の+2σの標準偏差	保守性は標準偏差の平均に対して見込み、約95%の範囲をカバーする上側の2σで設定することで見込む。	0.6

「表 D.5—元素分析データが非常に少ない元素の濃度分布条件設定方法」の90%は例示であり根拠ではない。95%を採用しない根拠について記載を充実することが望まれる。

- e) 「I.2.2.1.2 元素成分条件の設定」の「d) 各元素の濃度分布条件の設定」では「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+2σ（分布の95.4%を包含する範囲の上限值）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として対数正規分布を選択している。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について、日本原子力学会は次のように説明している²²⁶。

<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考えられる。

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

²²⁶ 第 4 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 4-2-2「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」回答 33(2)

す。

さらに、このような低い濃度領域においては、濃度分布の分布形状の基本的考え方として示しました対数正規分布を適用することで評価できると考えます。

(対数正規分布に関しましては、別紙「II. 附属書に関する気付き事項」の「4. 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」の⑥h) の回答を参照ください。)

元素	不純物の許容値 (%)	元素分析での検出下限値 (%)
Co	2 E-3 以下	3. 3E-4
Nb	1 E-2 以下	2. 9E-3
Mo	5 E-3 以下	3. 3E-4

放射能濃度決定標準は過去の事例を紹介しているが、分析技術の進歩により検出限界が向上していることを踏まえて、分析することを優先する記載とすることが望まれる。

- f) 「I. 2. 2. 2 中性子条件」の「c) 中性子条件の設定」において、「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²²⁷であり、それ以前は外周部に新燃料を配置していた可能性がある。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、日本原子力学会は、以下のように説明している²²⁸。

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

チャンネルボックス内の燃料集合体配置を外周低濃縮型燃料から外周高濃縮型燃料に変更する場合や、炉心全体での高反応度燃料と低反応度燃料の最適装荷パターンを採用するといった技術進歩が、チャンネルボックスの評価方法に影響ないか確認することを記載することが望まれる。

- g) 「I. 2. 2. 3 中性子照射条件」の「I. 2. 2. 3. 1 ZrTN804D (BWR チャンネルボックス)」では、「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」において、中性子照射時間の設定条件は、平均値=1,786 日、標準偏差=654 日としている。また、「I. 2. 2. 3. 2 SUS304 (PWR 制御棒)」では「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」において、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 年としている。これらの数値の設定理由について、日本原子力学会は次のように説明

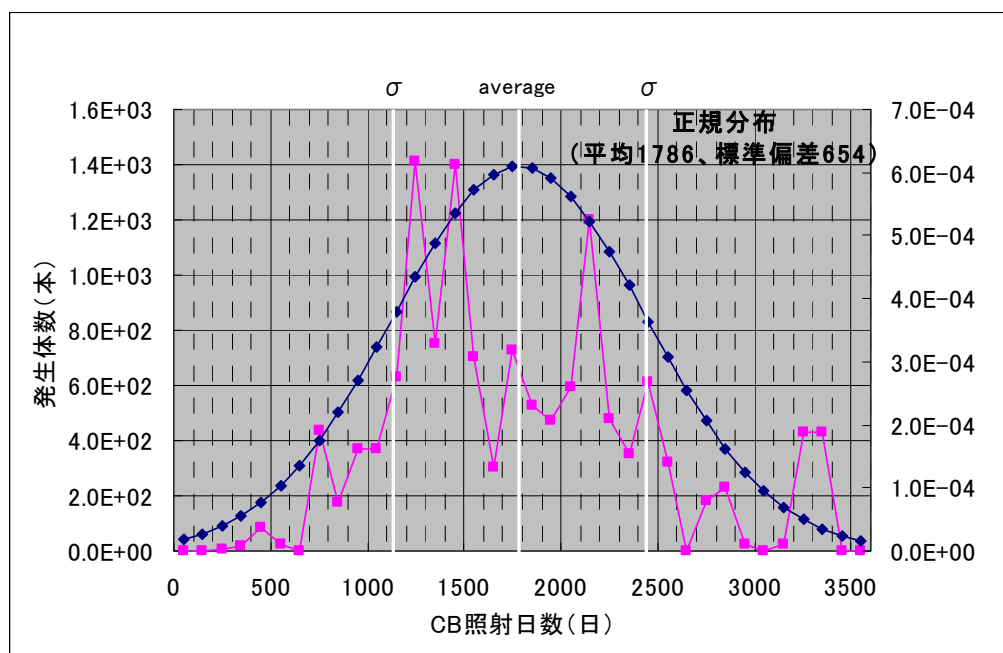
²²⁷ BWR 新型炉心燃料の適用と開発, 日立評論 Vol.70, No.4, (1988-4)

²²⁸ 第4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4-2-2「適用範囲と理論的方法の特徴」回答4

している²²⁹。

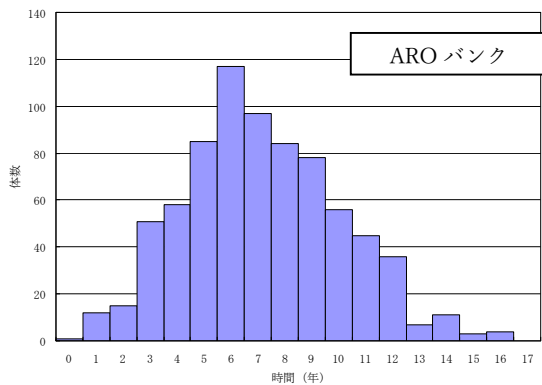
「表 I. 14-ZrTN804D (BWR チャンネルボックスの本体) の照射時間の出現頻度分布の設定」の照射時間の設定については、約 13,000 体の燃焼度の実態調査結果を踏まえ、下図に示すとおり、照射期間の分布形状にフィットするような正規分布を仮定し設定しています。

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

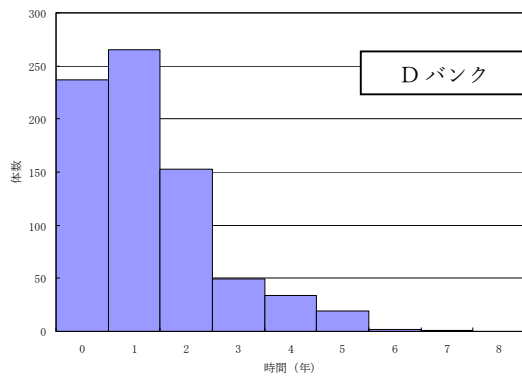


事業者から提示のあった BWR チャンネルボックス照射時間の分布

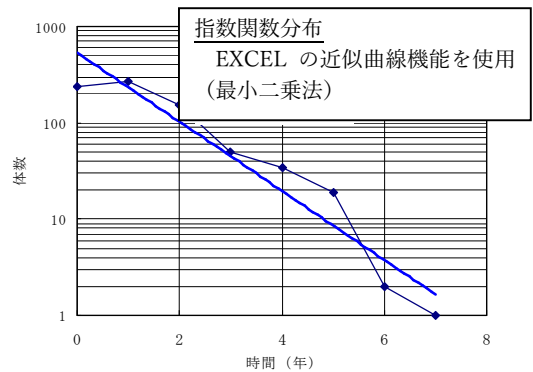
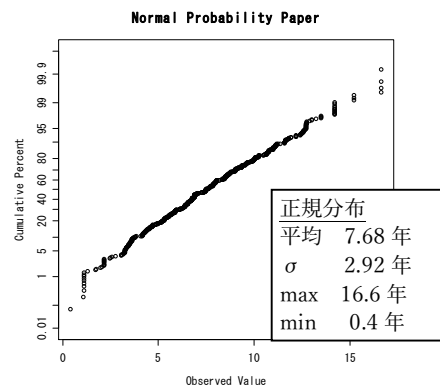
²²⁹ 第 4 回中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法に係る日本原子力学会標準の技術評価に関する検討チーム参考資料 4-2-2 「理論的方法の入力条件の設定方法の具体及び評価結果の不確かさ」 回答 34



AROバンクでの照射時間の度数分布 (全プラント)



Dバンクでの照射時間の度数分布 (全プラント)



Dバンクでの照射時間の度数分布 (全プラント)

事業者から提示のあった PWR 制御棒の中性子照射時間の分布

チャンネルボックスや PWR 制御棒は複数の廃棄体容器に収納すると想定されることから、全体としての分布形状を想定することについては検討が必要である。廃棄体ごとの最大放射能濃度及び総放射能濃度を求める観点に基づき、評価方法のあり方を検討することが望まれる。

- h) 「I. 2. 4. 3 濃度比の決定方法」の「a) 濃度比の算出」において、濃度比は幾何平均又は算術平均で算出するとしている。廃棄体の放射能濃度が第二種廃棄物埋設に係る許可を受けたところによる最大放射能濃度を超えないことを確実にするための算出値の処理方法について、及び「平均」と記載しているもの²³⁰は「幾何平均」又は「算術平均」のいずれであるかについて、日本原子力学会は、以下のように説明している²³¹。

濃度比法における濃度比の設定に適用する「平均」の考え方は、適用する評価

²³⁰ 用語「幾何平均」は標準中に 11 箇所 (図 B. 6、表 G. 13、I. 2. 4. 3、図 I. 8、図 I. 9、K. 1. 4) 記載されているが、その他は「平均」と記載されている。

²³¹ 第 4 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 4-1 「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」回答 13(1)

対象の放射能に合わせて、以下のとおりに使い分けます。

算術平均： 最大放射能濃度を評価する場合の濃度比の設定に適用

算術平均は保守性をもった平均値である。(本項②j) の回答も参照)

幾何平均： 平均放射能濃度及び総放射エネルギーを評価する場合の濃度比の設定に適用

幾何平均は全体の放射能濃度の平均を適切に評価する平均値である。

(上記②j) の回答 も参照)

なお、濃度比法と濃度分布評価における最大放射能濃度の評価方法に関しましては、表 13(1)に示しますように、評価用の係数の設定と濃度分布からの濃度の設定によって適用する平均値に差異があります。

表 13(1)-1 最大放射能濃度を超えていないことを確認するための放射能濃度の決定方法

		濃度比法の場合	濃度分布評価法
評価方法の概要		放射化計算によって評価対象核種と Key 核種の濃度比を設定し、Key 核種の放射能濃度に濃度比を乗じて評価対象核種の放射能濃度を決定する。	放射化計算によって評価対象核種の放射能濃度分布を評価し、この放射能濃度分布を使用して、評価対象核種の放射能濃度を決定する。
利用 する 対象	評価係数	濃度比には「算術平均」を適用する	—
	放射能濃度分布	—	分布の平均と標準偏差を適用する
放射能濃度の決定		Key 核種濃度（非破壊外部測定又は、放射化計算結果を適用）に算術平均濃度比を乗じて評価する	放射能濃度分布を評価した計算結果の最大値を用いて放射能濃度を評価する

適用する区間推定法と求める最大放射能濃度又は総放射能濃度により、「平均」の意味を明確にすることが望まれる。

- i) 「I. 2. 4. 3 濃度比の決定方法」の「a) 濃度比の算出」において、「評価対象廃棄物全体の放射能濃度は、様々な放射化条件下にあり、数桁にわたる広範囲の放射能濃度で分布するものもあり、一般に、難測定核種及び Key 核種の放射能濃度は、対数正規分布で評価される。また、難測定核種及び Key 核種の濃度比も基本的に相関関係をもつ二変量対数正規分布に従うため、」と記載されている。「評価対象廃棄物全体」とは、どのような範囲か、「一般に、難測定核種及び Key 核種の放射能濃度は、対数正規分布で評価される。」の根拠、及び「難測定核種及び Key 核種の濃度比も基本的に相関関係をもつ二変量対数正規分布に従う」の意味とその根拠について、日本原子力学会は次のように説明している²³²。

＜評価対象廃棄物全体＞について

²³² 第 4 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 4-1 「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」 回答 13(3)

附属書 I の「I. 2. 4. 3 濃度比の決定方法」に示しています「評価対象廃棄物全体」は、放射能濃度を求める対象とする放射化金属の一つ又は一部ではなく、放射化金属の全体を意味しています。

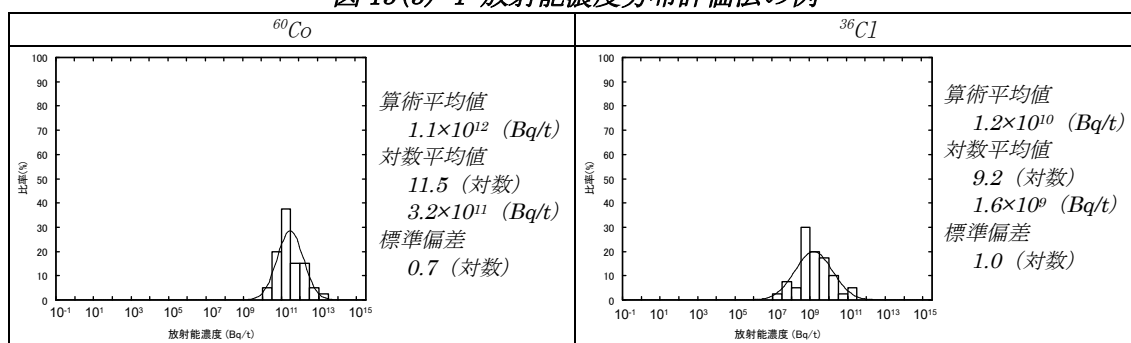
(例 チャンネルボックスであれば、1 体だけでなく全チャンネルボックス、シユラウドであれば、切断片でなくシユラウド全体)

<難測定核種及び Key 核種の放射能濃度は、対数正規分布で評価される>について

標準の例では、濃度比法における個々の核種の放射能濃度分布は示していませんが、同じ区間推定法の放射能濃度分布評価法の例 (図 13(3)-1 参照 (附属書 K の「図 K. 6-放射能濃度の決定 (原子炉停止直後)」の一部を抜粋)) において放射能濃度の分布を示しており、対数正規分布であることが観察されています。

(上記②c) の回答及び次の回答での注 2 に示す引用文献も参照ください。)

図 13(3)-1 放射能濃度分布評価法の例



<難測定核種と Key 核種の濃度が二変量対数正規分布に従う>について

「二変量対数正規分布」¹⁾は、難測定核種と Key 核種の双方の核種の放射能濃度分布がそれぞれ正規性を示し、かつ双方の核種間に相関関係を利用した分布モデルであり、次式で示されますように、2つの正規分布を示す変数の間で相関関係がある場合の分布で扱うモデルです。

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\frac{(x-\mu_1)^2}{\sigma_1^2} - \frac{2\rho(x-\mu_1)(y-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(y-\mu_2)^2}{\sigma_2^2}\right)\right)$$

ここで、 μ_1 、 μ_2 は変数 x 、 y の平均値、 σ は変数 x 、 y の分散、 ρ は変数 x 、 y の相関係数である。

一般的に放射能濃度の分布は数桁に及ぶため、対数正規分布を示す²⁾ことから、評価対象核種と Key 核種間との相関性を評価することによって、この「二変

量対数正規分布」の考え方が適用できます。このため、その適用性の判断は、各核種の濃度分布の正規性と核種間の相関性で評価します。

なお、参考までに、標準に示しました計算結果を整理した結果の一例を「図13(3)-2 相関性及び対数正規性を示す図の例」に示します。

注1 二変量正規分布及びその解析手法を利用して、評価している例としては、下記があります。

- ・海底地殻変動観測の統計的な精度評価手法，海洋情報部研究報告 第53号 平成28年3月1日
- ・L20002, 放射性廃棄物処分におけるベントナイト層の透水係数の合理的な品質管理手法の提案－地球統計学手法の適用性に関する検討－，電力中央研究所，2021/03
- ・稲田，CTA 大口径望遠鏡初号機の光学性能最適化に向けた分割鏡測定とその配置の検討，東京大学大学院理学系研究科物理学専攻，平成29年1月
- ・八巻，巻き込み2変量正規分布に従う位相スペクトルをもつ2信号間の位相限定相関関数の統計的性質，計測自動制御学会 東北支部 第294回 研究集会，2015
- ・森地，情報提供システム評価のための交通行動分析手法に関する研究，交通工学 Vol130, No3, 1995

注2 濃度等の分布が対数正規性を示していると報告された文書（一例）

- [1] 福島第一原子力発電所事故 事務局長報告書（引用 UNITED NATIONS, FAO/IAEA Food Database, UNSCEAR 2013 Report, Attachment C-8 of Annex A: Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Nuclear Accident After the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2014).)
- [2] JAEA-Technology 2015-009 JPDR 保管廃棄物に対する放射能濃度評価方法の検討 (2)
- [3] 日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ Vol. 7 No. 2, 射線安全の新しいパラダイム検討専門研究会報告書（引用 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR 1993 Report (1993)）
- [4] 平成30年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費助金（固体廃棄物の処理処分に関する研究開発）」2019年度成果 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)

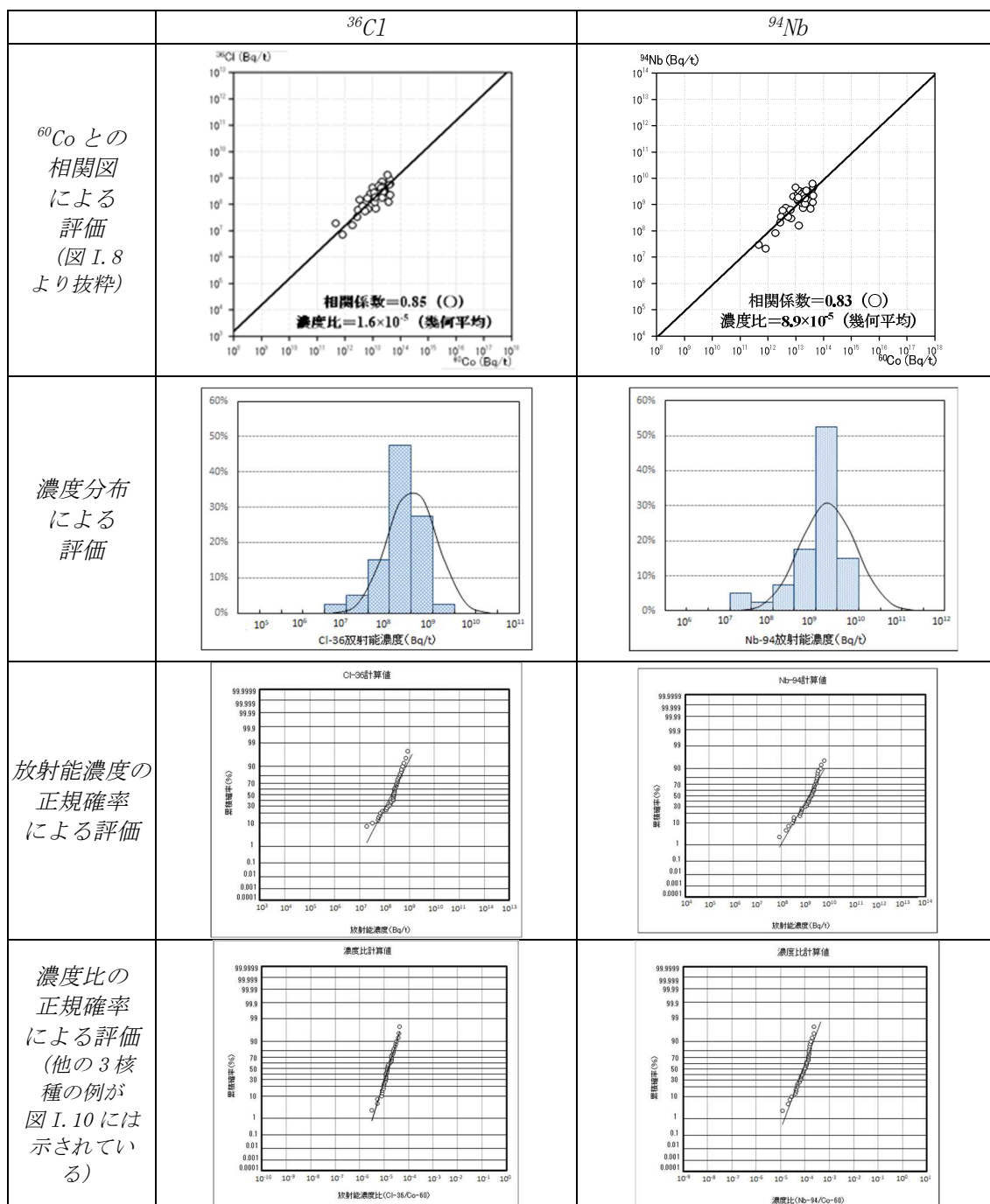


図 13(3)-2 相関性及び対数正規性を示す図の例

注記 1 濃度分布及び正規確率の図は、現行の標準での記載はない。附属書 I の「表 I. 17 -ZrTN804D の元素成分条件の放射化計算用データの設定結果」及び「表 I. 21 -ZrTN804D の放射化計算結果 (BWR チャンネルボックスの本体)」(別添 1 参照) に示す放射化計算結果を用いて今回あらたに作図したもの。

注記 2 ^{60}Co との相関図による評価において、相関係数の () 内の「○記号」は t 検定によって相関関係が認められたことを意味する。

濃度比法における難測定核種及び Key 核種の放射能濃度は対数正規分布ということについては、対象元素成分の分布が一様分布の場合でも成立するのか、対象元素成分の分布状態との関係を明確にすることが望まれる。

- j) 「I. 2. 4. 3 濃度比の決定方法」の「a) 濃度比の算出」において、「難測定核種及び Key 核種の濃度比も基本的に相関関係をもつ二変量対数正規分布に従うため、複数回の放射化計算結果を使用して濃度比を算出する場合には、幾何平均の適用が適切である。」と記載されている。濃度比が対数正規分布に従っているとした場合、濃度比として幾何平均を用いると難測定核種の放射能濃度が必ず保守的になるか、及び難測定核種と Key 核種が二変量対数正規分布であるとして濃度比を幾何平均で求めた場合、二変量対数正規分布と判断した濃度範囲の廃棄物全体が同一の処分場あるいは処分場の同じ区画に埋設されることを担保する方法、又は当該廃棄物全体が一つの廃棄体に入っていることが担保される方法について、日本原子力学会は次のように説明している²³³。

＜幾何平均による保守性＞について

濃度比に幾何平均を使用する考え方は、過剰な保守性を排除するために、適用するものです。

ここで、Key 核種の濃度分布から難測定核種との相関関係を踏まえ、難測定核種の放射能濃度分布を推定評価するには、主に線形関係を基本とした図 13(4)-1 に示す下記の 2 種類の算出式による評価方法があります。

- ① 算術平均濃度比による難測定核種の評価
- ② 幾何平均濃度比による難測定核種の評価

²³³ 第 4 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 4-1 「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」回答 13(4)

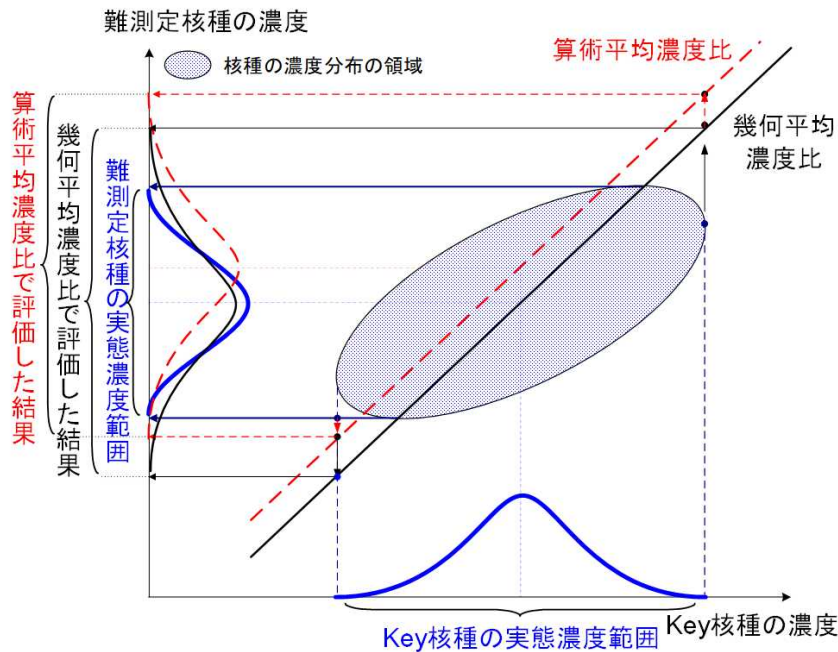


図 13(4)-1 難測定核種の放射能濃度の評価に適用する算出式による差異のイメージ

注 Key 核種は分析が容易な核種であるが、難測定核種は分析が難しく検出限界の影響を受けて濃度分布範囲が若干狭まることを踏まえ、傾きを 1 より小さくした。

上図に示した 2 種類の評価方法について、その特徴を表 13(4)-1 に整理しました。まず、「算術平均」は、濃度分布のばらつきを加味できるため、スクリーニングレベルと組み合わせることで、「最大放射能濃度」の評価に適します。

一方、「幾何平均」は、濃度分布を適切に評価できるため、「放射能量の総量」を算出するための放射能濃度の評価に適します。

表 13(4)-1 算術平均濃度比と幾何平均濃度比による評価の比較

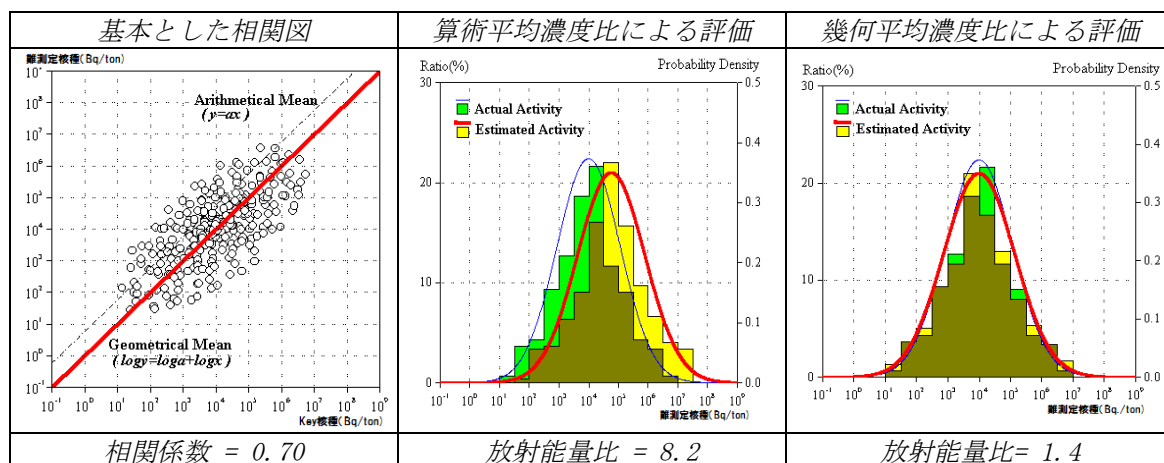
算出方法	算術平均濃度比による評価	幾何平均濃度比による評価
基本的な適用範囲	算術平均は、「正規分布」に従う変数に対して望ましい平均値である。	幾何平均は、「対数正規分布」に従う変数に対して望ましい平均値である。
濃度比を適用して評価した分布の結果	ばらつきの影響が加味され、分布の形状はあまり変えないものの、濃度の大きい方向にスライドさせる形での評価分布となる。	分布の中心は変わらず、濃度の大小の方向に若干拡張させる形での評価分布となるが、ばらつきに大きく影響されない。
適した評価対象	分布のばらつきを加味するため、これに保守性を加えることにより、『最大放射能濃度』の評価に適する。	分布の中心を正しく評価し、かつ、分布の線形の傾きが 1 未満の場合、保守性も加わり、『放射能量算出のための放射能濃度』の評価に適する。

相関係数=0.7 を示す難測定核種と Key 核種の放射能濃度データを 300 点生成し、この各データが、個々の廃棄体の放射能濃度のデータであると想定して、「各々の難測定核種濃度のデータの値」と、各々の「Key 核種濃度に濃度比を乗

じて算出した難測定核種の放射能濃度の値」とを比較評価した結果を「図 13(4)-2 スケーリングファクタ算出方法の違いが放射能評価結果に与える影響（規格化したデータを使用した評価）」に示します。

その結果、濃度比として、「算術平均」を適用した場合、算出式が示す推定放射能濃度分布への影響の特徴（「図 13(4)-1 難測定核種の放射能濃度の評価に適用する算出式による差異のイメージ」参照：スケーリングファクタ法の例示ですが、濃度比法にも適用できます）で示しますように、放射能濃度分布を大きい方向にスライドさせた評価となり、設定した放射能の 8.4 倍の放射能の評価結果を示し、ばらつきを過度に加味した大きな保守性を含むこととなります。

一方、「幾何平均」を適用した場合、濃度分布の平均濃度は変わりませんが、放射能濃度の高い領域を大き目に評価する特徴（図 13(4)-1 参照）から、実際の放射能の 1.4 倍程度の放射能評価結果となり、保守性を確保しつつ、より実態（難測定核種の放射能濃度分布と放射能の真値）に近い評価結果を得ることができており、「幾何平均」を適用した方が、放射能の総量の評価に関しては、実態をより適切に評価できていることが分かります。



注：放射能量比=スケーリングファクタを適用し算出した難測定核種の放射能 (Estimated Activity) / 規格化データの難測定核種の真値 (Actual Activity)

図 13(4)-2 スケーリングファクタ算出方法の違いが放射能評価結果に与える影響（規格化したデータを使用した評価）

(出典) H. Masui, M. Kashiwagi and H. Ozaki, Rationalization of radioactivity concentration determination method for Low-level radioactive waste generated at Japanese nuclear power plants, (International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management: ICEM' 01, Bruges, Belgium, 2001)

IAEA Nuclear Energy Series, No. NW-T-1.18, Determination and Use of

Scaling Factors for Waste Characterization in Nuclear Power Plants (2009)
 <濃度比法を使用した場合の不確かさとして、ばらつきはどこまで許容できるか>について

「ばらつき」は、最大放射能濃度の評価に対して必要になります考慮事項です。この点に関して、本項②i)の回答の「図 13(3)-1 放射能濃度分布評価法の例」に示しています評価対象核種と Key 核種の濃度比ばらつきを最大値・最小値の範囲で示しますと、C1-36 で 14 倍、Nb-94 で 38 倍と平均の±1 桁以内（すなわち、100 倍以内）に入っており、かつ算術平均値に対する最大値のばらつき範囲は C1-36 で 2.5 倍、Nb-94 で 4.1 倍と算術平均値の+1 桁を超えるものではありません。¹⁾

このため、最大放射能濃度の評価に適します濃度比に対する「算術平均値」の適用に加え、スクリーニングレベル（例 1 桁）を適用することで、「ばらつき」を考慮した最大放射能濃度の確認が行えるものと考えます。

注 1) 計算例で最もばらつきが大きい Np-237 でも算術平均値に対する最大値のばらつき範囲は 4.9 倍であった。

<放射化計算の充足数として、40 点で良いのか>について

放射化計算数の充足度は、40 点といった規定値でなく、計算回数を増やしていった場合の計算結果が示す統計値の安定性（「図 13(4)-3 放射化計算数の充足度の統計値による評価」のように、統計値安定後の濃度比はほとんど変化しない）で評価します。

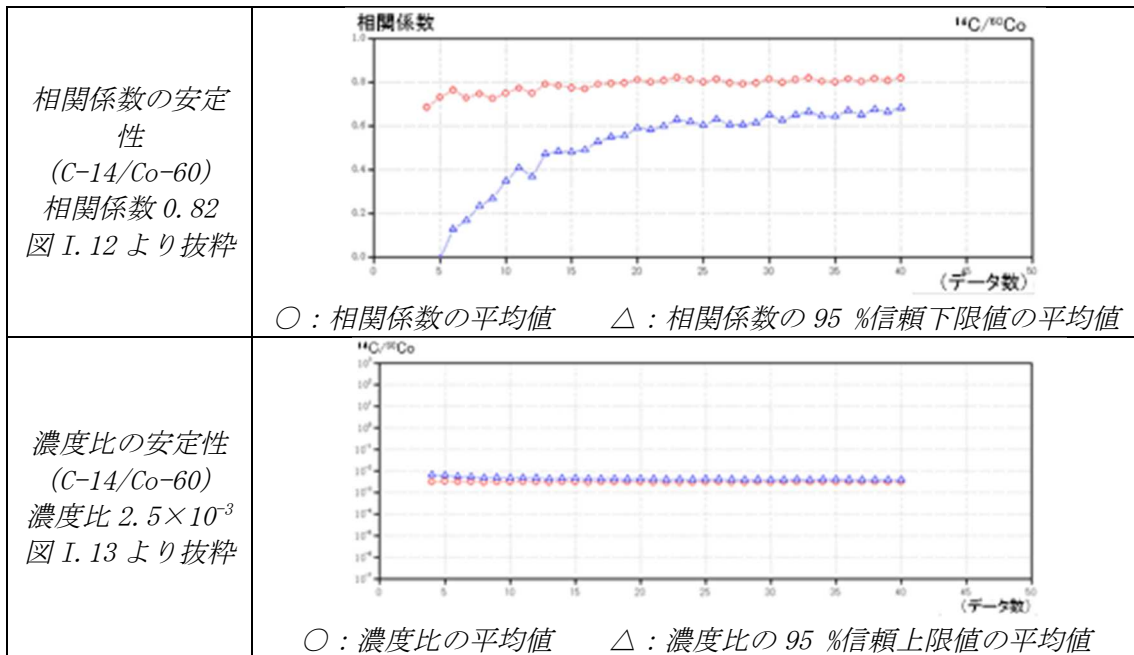


図 13(4)-3 放射化計算数の充足度の統計値による評価

この判断方法は、第 1 回検討チーム回答での「資料 1-1 L1 放射能評価標準に

規定されている評価方法の概要及び理論的方法の技術的ポイント」の37頁から38頁に示しておりますように、相関係数の統計値の安定性によって判断するものです。

これを踏まえ、標準では、附属書Iの「図I.12—相関係数の安定性の評価（放射化計算結果の数（評価データ数）及び相関係数の統計値の推移による評価）」（略）に示しています「相関係数の安定性の評価（放射化計算結果の数（評価データ数）及び相関係数の統計値の推移による評価）」で評価していますが、本項②i)の「図13(3)-2 相関性及び対数正規性を示す図の例」に示していますC1-36、Nb-94に関するCo-60との相関係数の統計値の推移を「図13(4)-4 濃度比法におけるC1-36とNb-94の計算回数 of 充足度の評価」に示します。

この計算例の図のように、計算数が30点を超えた段階で統計値は安定していることから、これ以上計算回数を増やしても、計算結果に変化は見られないことを示しており、計算例では40点の計算による評価で確認できることを示しています。

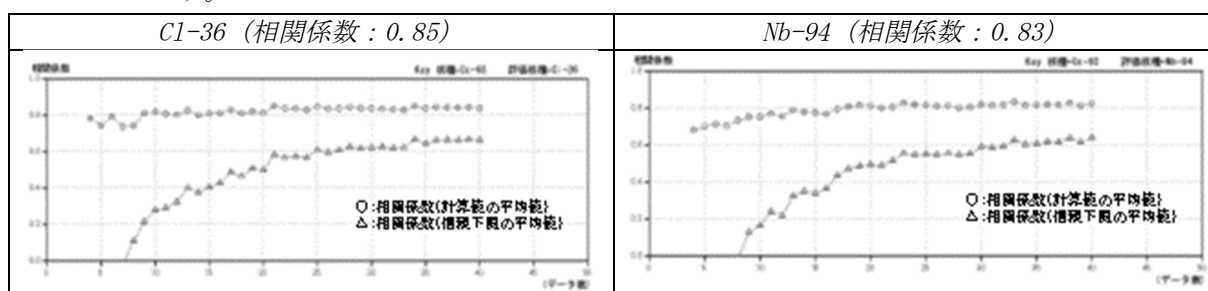


図13(4)-4 濃度比法におけるC1-36とNb-94の計算回数 of 充足度の評価

出典 事業者から提供された推移図を示す。

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

必要計算数の考え方の例として、IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.18に示されるスケーリングファクタの評価に必要な分析データの充足数に関する引用文献[1]があり、図13(4)-5の評価結果（相関係数0.8の場合の100点のデータまでの統計値の推移を評価した例）などを踏まえ、理論計算の計算数を増し続けても、計算結果の信頼性の指標となる統計値（相関係数などの95%信頼下限値）の向上率が、図13(4)-5のように徐々に低下し、計算数を向上したとしてもその効果が得られなくなっていくます。

このように計算数を増やした場合に得られる計算結果の信頼性の向上率が小さくなり、安定した段階が、計算数が充足したと判断できる数量と考えます。この計算数としての充足性を満たす数量（引用文献ではスケーリングファクタ法における必要データ数）に関して、0.6以上の相関係数ごとに「表13(4)-2 Required number of data according to the correlation coefficient and

based on a 95% confidence limit」に示されており、このデータ数の充足性を満たす数量の考え方が、同じ統計値（相関関係を踏まえた濃度比）を利用して評価する理論的方法にも適用することが可能です。

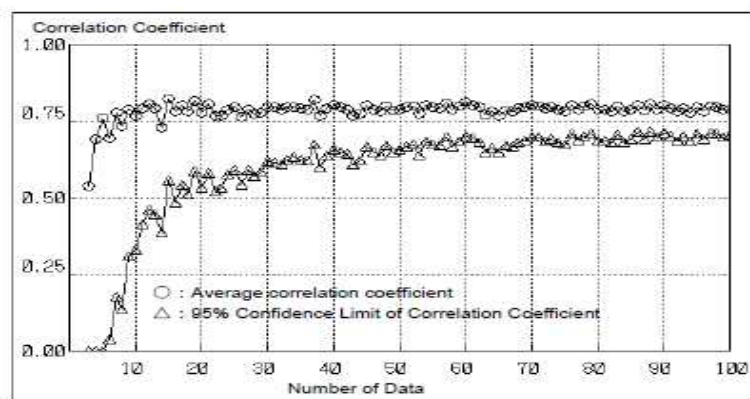


図 13(4)-4 The changes in correlation coefficient with the number of samples
(相関係数 0.8 の例[1])

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

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

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

<判断した濃度範囲の廃棄物全体が同一の処分場あるいは処分場の同じ区画に埋設されることを担保する方法など>について

埋設段階の廃棄体の管理、運用に関しましては、申請を行う各事業者が計画し、管理を行うことになります。

その管理に関しては、埋設する各廃棄体は整理番号によって管理され、さらに、各廃棄体に収納した放射化金属等の種類、廃棄物量、放射能濃度も廃棄体の整理番号によって管理されますので、評価対象とした廃棄体に関する埋設管理が可能になります。

したがって、「濃度比法」を適用した廃棄体に関しては、放射能評価方法を適用するためにも、廃棄体と情報との 1 対 1 の連関管理（整理番号と記録との管理）を行うことで、廃棄体の埋設管理及び実際の廃棄確認によって、担保される

こととなります。

また、廃棄体の埋設総放射エネルギー及び埋設区画ごとの放射エネルギーも、この管理によって把握され、必要な制限値（区間ごとの総放射エネルギーには許容範囲が設定される）を満足していることを確認することとなります。

この際に、現行埋設施設で言う埋設設備 1 基ごと、又は埋設設備の群単位内に、同一の幾何平均濃度比を適用して平均放射能濃度を評価した同一廃棄物グループが埋設されることを確認することとなります。

放射能濃度分布が一様でない評価対象廃棄物が複数の廃棄体容器に分割収納される場合に、濃度比法を用いた廃棄体個々の放射能濃度の最大値及び廃棄体に含まれる放射性物質の種類ごとの放射エネルギーの評価方法を明確にすることが望まれる。

- k) 「I. 2. 4. 3 濃度比の決定方法」の「b)放射化計算結果（評価データ）の充足性」において、40 点のデータで濃度比を決定するデータ数としては充足していると評価されているが、当該計算で求めた核種比が実際のものと同等あるいは保守的になっているかについて、日本原子力学会は次のように説明している²³⁴。

標準では、区間推定法による放射化計算の結果と分析値の比較は行っておりません。

しかしながら、分析を行ったサンプル採取位置と区間推定法でランダムサンプリングした評価位置は、一致するものではありませんが、濃度比法による計算結果に分析値をプロットしたものを参考までに、図 13(2)-1(1)～(3)（「図 I. 8-ZrTN804D (BWR チャンネルボックスの本体) の難測定核種及び Key 核種 (⁶⁰Co) の散布図 (放射化計算結果)」の一部に分析データをプロットしたもの) に示します。

なお、図中の「●」は、チャンネルボックスの中央部から採取した試料を放射化学分析した結果ですので、これと比較する計算結果は、比較的高い放射能濃度領域（赤破線の○で囲った部分）の計算値プロットである「○」との比較になります。

ただし、Tc-99、I-129、Np-237 は分析結果が検出下限値となっています。

さらに、比較に適用した元素濃度の分析値は、図 13(2)-2（「図 I. 5-ZrTN804D の元素分析データ及び濃度分布条件設定結果）から抜粋）に示しますように、検出下限値しか得られていませんので、区間推定法の元素濃度の設定は、検出下限値から設定した濃度分布からランダムサンプリングした元素濃度であることにも留意が必要です。

²³⁴ 第 4 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 4-1「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」回答 13(2)

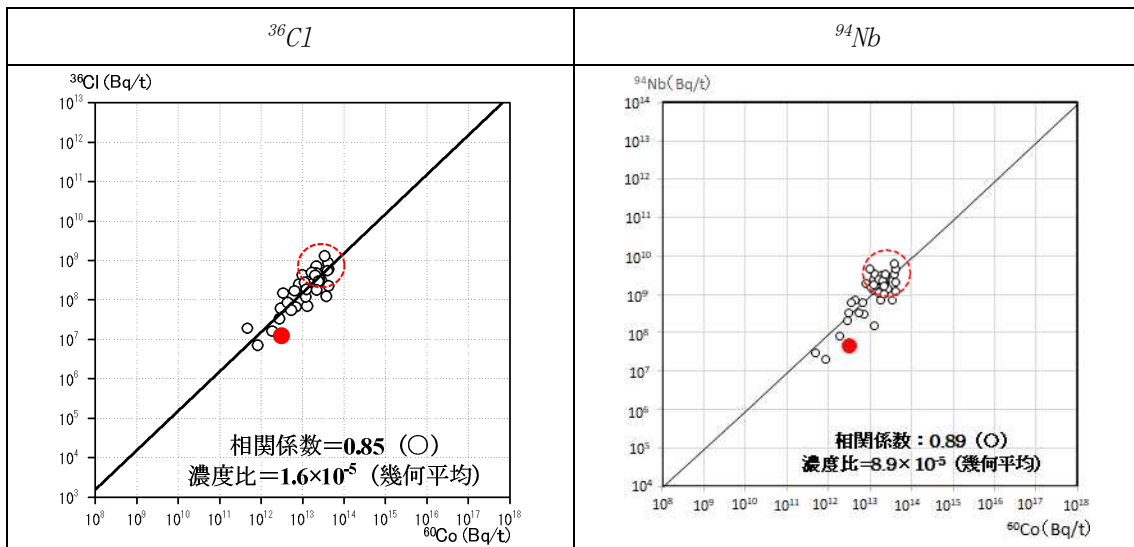


図 13(2)-1(1) (図 I. 8-ZrTN804D (BWR チャンネルボックスの本体) の難測定核種及び Key 核種 (^{60}Co) の散布図 (放射化計算結果) から抜粋)

(●は分析値を示す。Co-60 : $3.3\text{E}+12\text{Bq/t}$, Cl-36 : $1.4\text{E}+7\text{Bq/t}$, Nb-94 : $4.4\text{E}+7\text{Bq/t}$)

注記 1 ^{36}Cl 及び ^{94}Nb の放射能濃度は、標準には示していない事業者から提供された分析データを使用している。

注記 2 分析したサンプルは CB の中央部からの採取であり、最も高い濃度を示す部位からの採取と考えられる (したがって、計算結果の最大領域の結果 (赤破線の○で囲った部分) との比較となる)。

注記 3 濃度比法の計算に適用した元素 Cl、Co 及び Nb の濃度分布は、元素分析の検出下限からの対数正規分布で設定したもの (図 13(2)-2 参照)

注記 4 相関係数の右の () 内は相関関係の t 検定を行った結果で、○ : 相関関係が認められる。× : 相関関係が認められない。

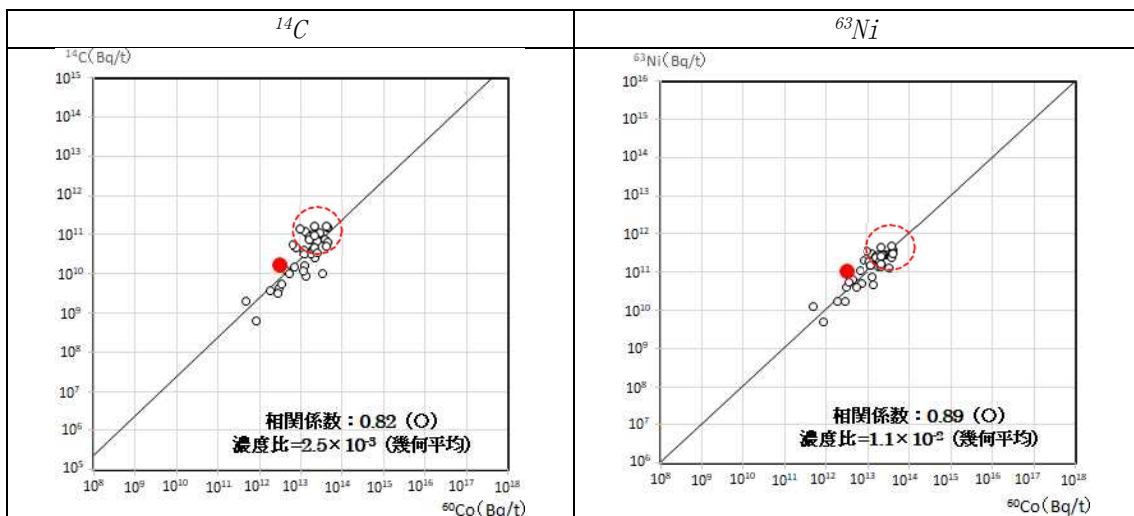


図 13(2)-1(2) (図 I. 8-ZrTN804D (BWR チャンネルボックスの本体) の評価対象核種及

びKey核種 (^{60}Co) の散布図 (放射化計算結果) から抜粋)

(●は分析値を示す。Co-60 : $3.3\text{E}+12\text{Bq/t}$, C-14 : $1.6\text{E}+10\text{Bq/t}$, Ni-63 : $9.9\text{E}+10\text{Bq/t}$)

注記1 ^{14}C 及び ^{63}Ni の放射能濃度は、標準には示していない事業者から提供された分析データを使用している。

注記2 分析したサンプルはCBの中央部からの採取であり、最も高い濃度を示す部位からの採取と考えられる(したがって、計算結果の最大領域の結果(赤破線の○で囲った部分)との比較となる)。

注記3 C-14 及び Ni-63 の起源元素である N 及び Ni は元素の分析結果が得られている。

注記4 相関係数の右の()内は相関関係の t 検定を行った結果で、○ : 相関関係が認められる。× : 相関関係が認められない。

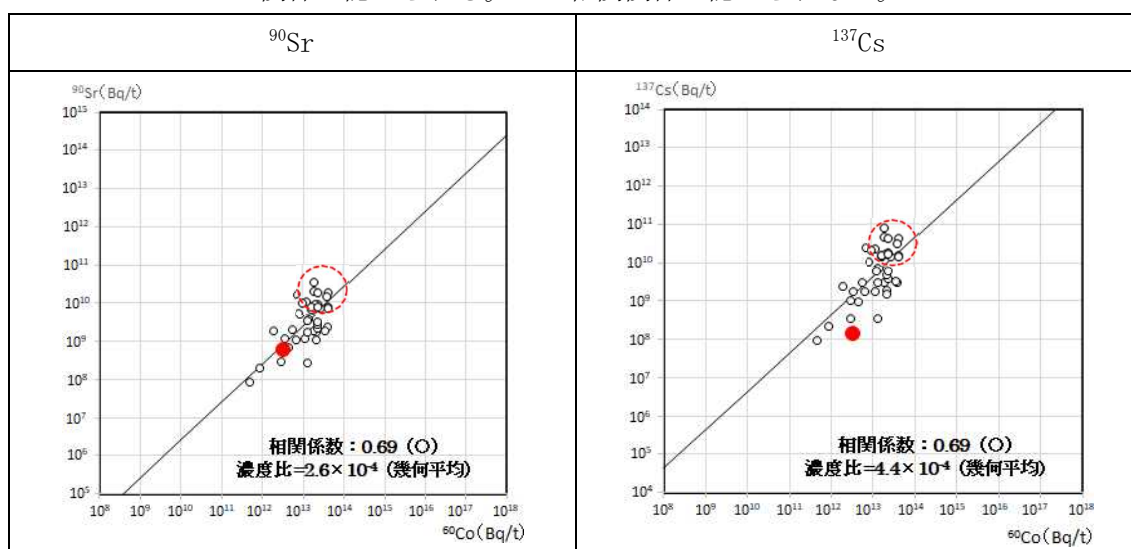


図 13(2)-1(3) (図 I.8-ZrTN804D (BWR チャンネルボックスの本体) の評価対象核種及びKey核種 (^{60}Co) の散布図 (放射化計算結果) から抜粋)

(●は分析値を示す。Co-60 : $3.3\text{E}+12\text{Bq/t}$, Sr-90 : $6.0\text{E}+8\text{Bq/t}$, Cs-137 : $1.4\text{E}+8\text{Bq/t}$)

注記1 ^{90}Sr 及び ^{137}Cs の放射能濃度は、標準には示していない事業者から提供された分析データを使用している。

注記2 分析したサンプルはCBの中央部からの採取であり、最も高い濃度を示す部位からの採取と考えられる(したがって、計算結果の最大領域の結果(赤破線の○で囲った部分)との比較となる)。

注記3 相関係数の右の()内は相関関係の t 検定を行った結果で、○ : 相関関係が認められる。× : 相関関係が認められない。

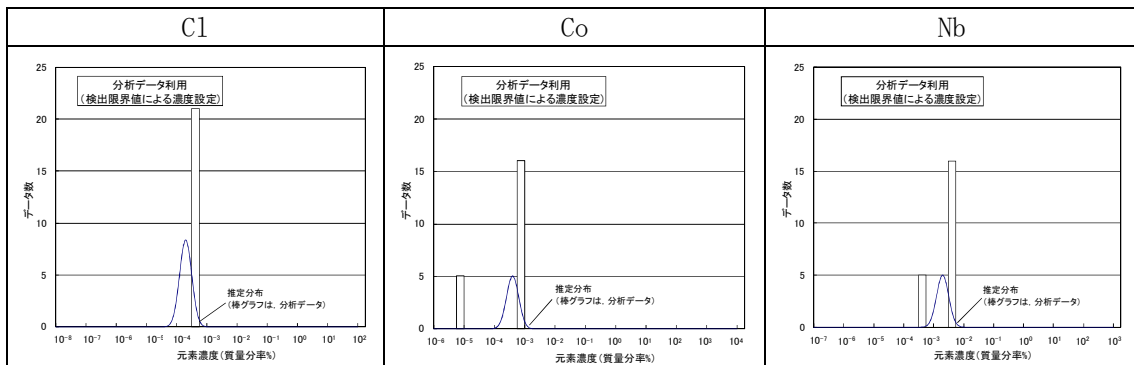


図 13(2)-2 (「図 I. 5-ZrTN804D の元素分析データ及び濃度分布条件設定結果」から抜粋)

「図 I. 8-ZrTN804D (BWR チャンネルボックスの本体) の難測定核種及び Key 核種 (^{60}Co) の散布図(放射化計算結果)」(濃度比法)では、分析値が $\text{Co-60}: 3.3\text{E}+12\text{Bq/t}$, $\text{Cl-36}: 1.4\text{E}+7\text{Bq/t}$, $\text{Nb-94}: 4.4\text{E}+7\text{Bq/t}$ に対して、計算値がそれぞれ 2 桁程度高くなり、保守的となっているが、「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 の 39 頁(点推定法)には、分析結果 $\text{Co-60}: 3.3\text{E}+12\text{Bq/t}$ に対して計算結果が $\text{Co-60}: 3.4\text{E}+12\text{Bq/t}$ 、分析結果 $\text{Ag-108m}: 2.5\text{E}+14\text{Bq/t}$ に対して計算結果が $\text{Ag-108m}: 2.6\text{E}+14\text{Bq/t}$ とほとんど保守性が見られない。これらの違いはどこにあるのか、日本原子力学会は次のように回答している²³⁵。

附属書 F で示しております点推定法による計算結果と分析結果の比較と、上記の附属書 I に示しました区間推定法による計算結果と分析結果の比較は、下記のように比較対象としている評価の内容が異なりますので、差異が出ているものです。

- ① 計算方法の妥当性確認 (附属書 F の点推定法による計算結果と分析結果の比較)
- ② 放射能評価における保守性/不確かさ (附属書 I の区間推定法による計算結果と分析結果の比較)

この両者の違いに関して、表 13(2)-1 に示します。

表 13(2)-1 計算方法の妥当性確認の評価結果と放射能評価上の保守性/不確かさの違い

	計算方法の妥当性確認	放射能評価における保守性/不確かさ
評価方法	評価対象物の同一位置における計算結果と採取サンプルの分析結果の比較 (保守性は入っていない)	区間推定法による放射能濃度の評価結果の不確かさの評価 (実際の適用事例で、保守性が入っている)
計算コードの検証	ORIGEN、MCNP などの計算コードの開発段階でのベンチマーク試験結果などによる確認	同左
適用手法	点推定法	区間推定法

²³⁵ 第 4 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 4-1 「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」回答 13(2)

入力データ	元素条件	評価対象物の品質管理材で、かつこの元素分析で分析結果が得られた元素から生成する核種のみでの比較を行う	評価対象物と同一材質の全起源元素の分析データの分布（検出下限値がある場合は、これを考慮して設定するため、バイアスが加わる）からのランダムサンプリング
	中性子条件	評価対象物の評価位置（ローテーションがあれば、その移動条件の詳細を含める）における中性子フルエンス率、中性子スペクトル及びこれらから設定した放射化断面積	①評価対象物を分割した区間（軸方向、径方向）ごとに評価した中性子フルエンス率、中性子スペクトル（放射化断面積）を評価 ②放射化物の評価位置をランダムサンプリング（移動があれば、パターン化して設定）し、①でマッピングされた分布から中性子条件を選択して設定
	照射条件	評価対象物が実際に受けた照射時間（ローテーションがあればその移動条件、照射停止時間も含める）	評価対象物の照射時間の実績分布及び代表的な照射パターンを適用した照射条件からのランダムサンプリング
評価結果の妥当性又は保守性などの評価	チャンネルボックスのCo-60の例： 分析値： 3.3×10^{12} Bq/t 計算値： 3.4×10^{12} Bq/t		濃度比法適用した場合： 元素データのND値によるバイアスに加え、評価した平均放射能濃度としては、99%信頼上限値まで約1.7倍のばらつきを有する。

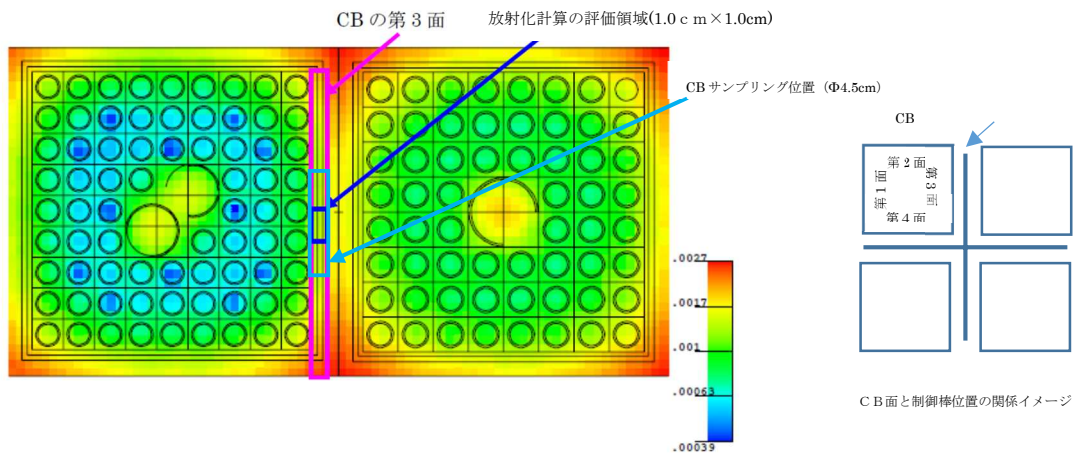
「図13(2)-1(1)～(3)では分析データが1点しか示されていないが、サンプリングの不確かさや分析の不確かさを踏まえても計算によって求めた核種比が実測によって求めた核種比と同等あるいは保守的であるか、日本原子力学会は次のように説明している²³⁶。

(1) サンプリングの不確かさ

チャンネルボックスからのサンプリングにおいては、任意の位置から採取できる専用のサンプリング装置を設計、製作し、CBのシリアル番号（炉内位置、使用履歴）を確認した上で、所定の面と高さから円盤状のサンプル（Φ4.5cm）を採取しており、採取位置のズレはmm単位です。また、放射化計算で放射能濃度を評価した領域はサンプリング位置の中心1.0cm×1.0cmで実施しています。図13(2)-3にサンプリング位置とMNCPにて解析した熱中性子束分布の計算例を示します。

図に示すようにサンプリング位置における熱中性子束分布は平坦であり、サンプルの大きさ（Φ4.5cm）と計算の評価領域（1.0cm×1.0cm）の違いによる影響は無視できます。

²³⁶ 第4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4-1「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」回答13(2)



(数値は1粒子あたりに規格化された値)

図13(2)-3 MNCPにて解析した熱中性子束分布の計算例：9×9燃料

事業者から提供されたデータ

(2) 分析の不確かさ

核種分析においては、試料調整時の秤量、定容(希釈)、核種計測において不確かさが含まれます。チャンネルボックスのCo-60分析において、拡張相対不確かさ(相対不確かさ×包含係数(k=2))は15%以下の実績があります。

したがって、表13(2)-1に示しました計算値/分析値の誤差3%には、約±15%程度の不確かさが含まれますので、計算値/分析値は-10%~+21%程度の範囲内の3%誤差と言えます。

「4. 4. 1 元素成分条件の設定方法」④において述べたように、「表 I. 17 - ZrTN804Dの元素成分条件の放射化計算用データの設定結果」に示す値は、Zrの許容最大値を超えるデータが使用されており、放射化計算結果の散布図の妥当性を確認することは困難である。適切な元素成分データに基づき再評価することが望まれる。

10. 附属書J(参考) 換算係数を用いる場合の計算例

①「J.1 基本的な考え方」

- a) 「J.1.1 考え方」の後段に、「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。」とされている。「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のか、日本原子力学会は次のように説明している²³⁷。

²³⁷ 第4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4-2-2「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」回答35

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

換算係数法に用いる中性子条件については、最大放射能濃度を求める場合と総放射能濃度を求める場合とを区別して明確にすることが望まれる。

- b) 「J. 1. 2 放射化計算の条件の設定」の「a) 元素成分条件」において、換算係数法は「各元素の濃度の代表値を 1 点設定する」としている。濃度比法との同等性を確保する観点から、換算係数法においても各元素の濃度を多点設定する場合の条件を明確にすることが望まれる。
- c) 「J. 1. 2 放射化計算の条件の設定」の「b) 中性子条件」において、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るが、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る。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できるか、日本原子力学会は、次のように説明している²³⁸。

- c-1) 中性子スペクトルの変動幅とそれに応じた放射化放射エネルギーの変動幅との定量的な関係について

BWR における径方向の炉心配置位置の違いによる中性子スペクトルの変動幅は炉心中央平均の軸方向中性子スペクトルに対して、0.9 倍～1.4 倍(-10%～+40%)の範囲となります。この変動幅による放射化放射エネルギーの変動幅は-9%～+36%程度となります。評価結果の詳細については別添 2「換算係数法計算例（BWR チャンネルボックス）の中性子条件設定について」²³⁹に示します。

- c-2) 最大放射能濃度評価（及び埋設総放射エネルギー評価）の観点から、許容される放射化放射エネルギーの変動幅、或いは変動幅の設定の方法について、

最大放射能濃度評価の観点からは、換算係数法を用いて計算を実施した事例はありませんが、中性子条件の設定手順としては、附属書 J の「表 J. 1-換算係数を用いる場合における中性子条件設定の考え方」に示すように、評価対象廃棄物自身の全領域に一つの保守的（放射能濃度評価結果が大きくなるような）代表値を設定します。

総放射エネルギー評価の観点からは、区画別放射エネルギーの確認を受ける評価単位の設定によって許容される変動幅が異なってきます。具体的には区画ごとに放射性物質の種類ごとの埋設放射エネルギーが不確かさ（元素条件、中性子条件、照射条件、

²³⁸ 第 4 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 4-1「適用範囲と理論的方法の特徴」回答 1(1)

²³⁹ 第 4 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 4-2「資料 4-1 別紙」の別紙 2

計算)を加味しても申請書の放射エネルギーを超えないことの定量的な評価は、申請核種の特定期間や、埋設施設の区画毎の埋設運用方法を踏まえたうえで実施する必要があります。このため、現時点では許容できる変動幅を提示することはできません。

なお、総放射エネルギー評価においては附属書「M.3.2 最大放射エネルギー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」に示すように廃棄体個々の放射エネルギー濃度のばらつきは、平均放射エネルギー濃度を中心とした対称的な分布を示すことから、全埋設廃棄体の総放射エネルギーとしては、放射エネルギー濃度のばらつきは最終的に相殺されるため、埋設放射エネルギーの確認においては評価結果である個々の廃棄物の放射エネルギー濃度及び平均放射エネルギー濃度の妥当性が確認できれば、得られた評価はそのまま適用できると考えています。

BWRチャンネルボックスの平均放射エネルギー濃度の評価に炉心平均の中性子条件を適用することの妥当性については、別添2のとおり炉心配置位置の違いによる放射化放射エネルギーの変動幅が十分小さいことを確認した上で適用しています。

c-3) 熱中性子フルエンス率と高速中性子フルエンス率或いは熱外中性子フルエンス率との比が2倍以内とした根拠について

現在想定している申請核種の起源元素に対し、炉心配置位置の違いによるスペクトルの変動範囲に応じた放射化放射エネルギーの変動幅の評価結果は、炉心平均の中性子条件で評価した結果に対して-9%~+36%となります。詳細結果を別添2に示します。なお、想定している申請核種に変更がある場合には、同様な感度解析を実施し影響評価を実施したうえで、中性子条件を設定することになります。

c-4) 上記 c-2) 及び c-3) を踏まえて、一定とみなすことのできる中性子スペクトルの範囲について

最大放射エネルギー濃度の評価では、評価対象廃棄体自身の全領域に一つの保守的(放射エネルギー濃度評価結果が大きくなるような)代表値を設定します。

総放射エネルギー評価では、別添2に示した手順で平均的な中性子条件の適用性を確認しますが、回答2)にありますとおり、申請核種の特定期間や埋設施設の区画毎の埋設運用方法を踏まえたうえで評価する必要があります。現時点では一定とみなすことのできる中性子スペクトルの範囲を提示することはできません。

c-5) 「表 J.6-BWR チャンネルボックスの評価条件(45GWd/t)」の熱群(FT)中性子スペクトルインデックス値が、軸方向位置1~24において0.64で一定とする根拠について

熱群(FT)中性子スペクトルインデックスは熱中性子フルエンス率に対する比率ではなく、熱群スペクトル形状の温度補正に関するファクタであり、当該領域の温度差は10K程度であり表J.6の注b)の F_T の式に従うと1%以下の変動であ

るため、軸方向位置において一定としています。

参考表 J.6 注 b) (標準からの抜粋)

$$F_T = \sqrt{\frac{\pi T_0}{4 T}}, F_R = \sum_{E_g \leq 1.0 \text{ MeV}} \phi_g / \phi_{th}, F_F = \sum_{E_g \geq 1.0 \text{ MeV}} \phi_g / \phi_{th}$$

ここに、

- F_T : 熱中性子フルエンス率に対するスペクトルインデックス (THERM)
- F_R : 熱外中性子フルエンス率に対するスペクトルインデックス (RES)
- F_F : 高速中性子フルエンス率に対するスペクトルインデックス (FAST)
- E_g : g 群のエネルギー (eV)
- T : 媒質の温度 (K)
- T_0 : 293.16 (K)
- ϕ_g : g 群²⁴⁰の中性子フルエンス率 (n/cm²/s)
- ϕ_{th} : 熱群²⁴¹の中性子フルエンス率 (n/cm²/s)

c-6.1) 「表 J.6—BWR チャンネルボックスの評価条件 (45GWd/t)」の熱中性子フルエンス率と類似のものが「図 G.5—BWR チャンネルボックスでの熱中性子フルエンス率軸方向分布の例」(別添1参照) (28GWd/tのもの) に示されている。燃焼度が1.6倍異なることを考慮して表 J.6 の熱中性子フルエンス率の値を1.6で除しても 10^{13} を下回るものはないが、図 G.5 の軸方向位置 24 では最外周及び炉心中央部平均でも 10^{13} を下回っている理由について

c-6.2) 「図 G.6—BWR チャンネルボックスでの高速中性子フルエンス率の熱中性子フルエンス率に対する比の例」の縦軸(高速中性子フルエンス率/熱中性子フルエンス率)の値は、「表 J.6—BWR チャンネルボックスの評価条件 (45GWd/t)」の熱中性子フルエンス率に中性子スペクトルインデックスの「高速群 (FF)/熱群 (FT)」比を乗じたものと相関があるように見えない(図 G.6 は右肩上がり、表 J.6 だと軸方向位置 23、24 で下がる)。表 J.6 と図 G.6 の関係について

上記 c-6.1) 及び c-6.2) をまとめて回答しますが、表 J.6 は換算係数法を用いる場合の計算例であり、管理指標として集合体平均燃焼度であるため、燃焼度変化に応じたノードごとに計算した中性子フルエンス率・中性子スペクトルを設定しています。一方、図 G.5 (別添1参照) 及び図 G.6 は特定の評価方法に限定しないときの計算例であり、代表燃料断面における中性子フルエンス率・中性子スペクトルを補正して設定しています。

1) 上記のとおり異なる計算例であるため、表 J.6 と図 G.5 は整合していません。

²⁴⁰ 中性子スペクトルが多群エネルギー構造で得られているため、その個々のエネルギー群を「g 群」と記載 (第4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 4-2-2「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」回答 39)

²⁴¹ 「熱群」とは中性子スペクトルが多群のエネルギー構造で得られているため、それらの群のうち、0.625eV以下のものを示す。(第4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 4-2-2「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」回答 39)

2) ノードごとの計算結果と代表燃料断面における計算結果の違いにより、表 J. 6 と図 G. 5 では軸方向出力及びボイド率で補正しているが天然ウランとなる 23、24 ノードで違いが生じています。

換算係数法における中性子条件の設定については、別添 2 で回答させていただきます。

最大放射能濃度を求める観点及び総放射能濃度を求める観点を区別して換算係数法の記載を充実することが望まれる。

- d) 「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るが、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ない。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について、日本原子力学会は次のように説明している²⁴²。

炉心内の中性子スペクトルは、炉心最外周では熱中性子に対する高速中性子、熱外中性子の比率が下がるため、同じ燃焼度でも最外周に配置したチャンネルボックスの放射化放射エネルギーは炉心中央部と比較して小さくなります。ただし炉心内の配置位置による中性子スペクトルの影響は附属書 G の図 G. 6～図 G. 7 に示すとおり炉心中央部と最外周部で 2 倍以内であることから放射化放射エネルギーへの影響は小さく、炉心平均の中性子条件を適用することは問題ありません。

燃焼度が同じで中性子スペクトルが異なる場合に、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について明確にすることが望まれる。

- e) 「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」において、「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」とある。「詳細計算」の方法について、日本原子力学会は次のように説明している²⁴³。

附属書の「J. 1. 3 放射化計算」には、換算係数を設定する場合の計算条件が整理されています。J. 1. 4. 2 で述べた「詳細計算」とは、これらの計算条件を詳細化した場合に対応しており、以下の条件のように整理されています。

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

²⁴² 第 3 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 3-1-1 「適用範囲と理論的方法の特徴」 回答 1(2)

²⁴³ 第 4 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 4-2-2 「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」 回答 36

「J. 1. 3 放射化計算」は元素成分条件、中性子条件及び中性子照射条件について代表点を設定すると規定しており、「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」に規定する詳細計算のことと解釈するのは困難である。記載を充実することが望まれる。

②「J. 2 計算例」

- a) 「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ない。換算係数の決定方法について、日本原子力学会は次のように説明している²⁴⁴。

換算係数を用いる場合の評価手順の概略を「図 J. 1—換算係数を用いる場合の評価手順の概略」に記載しています。

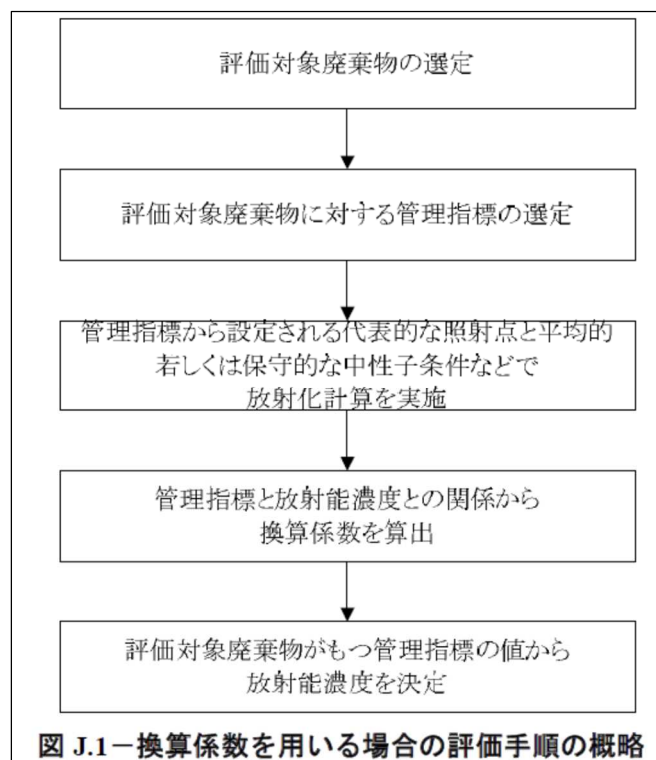


図 J.1—換算係数を用いる場合の評価手順の概略

換算係数の決定については次のとおりです。

図 J. 1 の 3 つ目の手順「管理指標から設定される代表的な照射点と平均的若しくは保守的な中性子条件などで、放射化計算を実施」を行い、図 J. 1 の 4 つ目の手順「管理指標と放射能濃度の関係から換算係数を算出」により、「図 J. 2—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)」(略)及び「図 J. 3—SUS304 (PWR 制御棒の被覆管) の換算係数の例 (管理

²⁴⁴ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 37

指標：中性子の照射量)」(略)に示す管理指標に対する換算係数の値として決定します。

「J. 2. 4. 2 換算係数の決定方法」の記載は結果のみであり、「4. 2. 4 区間推定法」(2) ②の表中における換算係数法の「基礎データ模式図」に示すような計算結果のばらつきが省略されており、最大放射能濃度を求める観点から妥当性の確認を行うことが困難である。記載を充実することが望まれる。

- b) 「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ない。放射能濃度の決定方法について、日本原子力学会は次のように説明している²⁴⁵。

放射能濃度の決定については、a)に示す「図 J. 1-換算係数を用いる場合の評価手順の概略」の5つ目の手順「評価対象廃棄物がもつ管理指標の値から放射能濃度を決定」において、上記 a)の回答で決定した換算係数と評価対象廃棄物の管理指標をかけ合わせることで、放射能濃度を決定します。

「J. 2. 4. 3 放射能濃度の決定方法」では、「J. 2. 4. 2 換算係数の決定方法」と同様に、記載を充実することが望まれる。

1 1. 附属書 K (参考) 濃度分布評価法によって決定する場合の計算例

- ① 「K. 1 基本的な考え方」において、「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。」とある。具体的にどのようなことか、日本原子力学会は次のように説明している²⁴⁶。

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

具体的には、「図 K. 3-元素分析データ及び濃度分布条件設定結果」の棒グラフが元素分析データであり、これらの元素分析データから平均値・標準偏差を計算し設定した入力用の元素分布を表したものが同図の曲線になります。この分布からランダムサンプリングによって入力条件として設定した元素成分条件が「表 K. 12-元素成分条件の放射化計算用入力データの設定結果」になります。

²⁴⁵ 第4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 4-2-2 「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」回答 38

²⁴⁶ 第4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 4-2-2 「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」回答 40

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

「K. 1. 1 考え方」に示す元素成分条件の設定は、選定された評価対象核種の起源元素量が全て化学分析によって得られた場合の記載である。区間推定法は濃度比法、換算係数法及び濃度分布評価法のいずれでもよいとしていることから、検出困難元素を含む場合を想定した記載に充実することが望まれる。

② 「K. 2 計算例」

- a) 「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る。微量元素及び不純物元素の観点から「ペシネ 1 級」について、日本原子力学会は次のように説明している²⁴⁷。

ペシネ 1 級黒鉛とペシネ 3 級黒鉛の違いについては、解説 6. 3 のとおり、かさ比重を高めるための工程（石油ピッチ浸透・仮焼成工程）の回数が異なります。

また、「JIS R 7221:1962 高純度黒鉛素材」（2011 年廃版）では、ペシネ 1 級黒鉛は原子炉用カーボン 1 級、ペシネ 3 級黒鉛は原子炉用カーボン 2 級になります。

なお、不純物元素に関係する項目としては、ホウ素含有量、灰分含有量の上限值についての記載があり、ホウ素含有量はペシネ 1 級が 0. 1 ppm 以下、ペシネ 3 級が 0. 5 ppm 以下、灰分含有量はペシネ 1 級が 0. 002 %以下、ペシネ 3 級が 0. 07 % 以下となっており、ペシネ 3 級が大きい値となっています。

放射能濃度決定標準に記載する評価対象の材料仕様については適用規格等を記載して内容が理解できるようにすることが望まれる。

- b) 「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」としている。その適切性について、日本原子力学会は次のように説明している²⁴⁸。

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

²⁴⁷ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 41

²⁴⁸ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 42

さらに、「F. 3. 4 核種分析値と放射化計算結果との比較」では、ORIGEN2 を用いた放射化計算結果と、同じ評価位置における採取試料の放射化分析結果を比較して、適切性を確認しています。

放射能濃度決定標準は ORIGEN2 コードが前提の記載になっているが、計算コード及び核データライブラリの進歩に対応した記載とすることが望まれる。

1 2. 附属書 L (参考) 不確かさなどによる計算結果の評価

- ① 「L. 2 点推定法」において、「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。」とある。「評価された値に関連させる」とは，具体的に何をするのか，日本原子力学会は次のように説明している²⁴⁹。

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

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

平均値の評価：各入力設定値のばらつきを考慮した信頼区間の評価

最大値の評価：各入力設定値の保守性を考慮したバイアスの評価

回答によれば「評価された値」とは「設定された値」のことと解釈されるので、適切な表現への見直しが望まれる。

1 3. 附属書 M (参考) 廃棄体中の放射能濃度の確認に対する基本的な考え方

- ① 「M. 3 評価精度に対する要求に対する対応」
- a) 「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」において、「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。」とある。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

²⁴⁹ 第4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 4-2-2 「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」 回答 43

生ずることも懸念される。個々の廃棄体についての裕度の必要性について、日本原子力学会は次のように説明している²⁵⁰。

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

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

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ることが前提である旨を明確にすることが望まれる。

- b) 「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。」とされている。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²⁵¹。

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

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

最大放射能濃度を超えないことの確認における評価の精度において、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とすることについては、具体的な記載を充実することにより理解されやすい規定とすることが望まれる。

- c) 「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」について、換算係数法、濃度比法及び

²⁵⁰ 第4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 4-2-2 「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」回答 44

²⁵¹ 第4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 4-2-2 「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」回答 45

濃度分布評価法の裕度の確保方法を日本原子力学会は次のように説明している²⁵²。

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

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

「c) 最大放射能濃度を超えないことの確認」については、換算係数法、濃度比法及び濃度分布評価法に適用する具体を記載することが望まれる。

1 4. 附属書 N (参考) 理論計算法の記録の例

①冒頭において、理論計算法の記録の例としての内容の詳細は、「ISO16966:2013 Theoretical activation calculation method to evaluate the radioactivity of activated waste generated at nuclear reactors」の Annex E を参照するとしている。ISO16966:2013 の Annex E を適用する範囲とその内容及び適用できる根拠について、日本原子力学会は次のように説明している²⁵³。

ISO16966:2013 の適用範囲は、第 2 回検討チーム会合の資料 2-1-5 「L1 対象廃棄物の放射能評価方法の国際標準、海外での取り込み－日本原子力学会標準と ISO 標準との関係－海外規格との相違点（変更点）など」に示しました下記になります。

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

1 Scope

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

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

「附属書 N (参考) 理論計算法の記録の例」の冒頭の記載は放射能濃度決定標準よりも「ISO16966:2013」を優先すると読めるため、規定としては不明確であり、見直しすることが望まれる。

²⁵² 第 4 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 4-2-2 「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」回答 46

²⁵³ 第 4 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 4-2-2 「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」回答 47(1)

②「N.1 結果の記録内容」には、記録することが望ましい項目として a～h が示されている。理論計算法の計算条件は a～h のどこに含まれるのかについて、日本原子力学会は、以下のように説明している²⁵⁴。

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

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

「c)放射線（線量率）測定方法の説明（放射線測定を適用した場合）」については、国内では基本的には想定していない項目とされており、放射能濃度決定標準に規定することについては検討が望まれる。また、記録すべき内容の具体については例示等で明確にすることが望まれる。

1 5. 附属書 0（参考）原廃棄物分析法の記録の例

①「附属書 0（参考）原廃棄物分析法の記録の例」の「0.1 結果の記録内容」の「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

²⁵⁴ 第 4 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 4-2-2「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」回答 47(2)

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な方法」に記載されているグラブスの検定などを（中略）適用してもよいとされているが、「2 引用規格」には当該 JIS 規格は記載されていない。また、JIS K 2251:2003「原油及び石油製品－試料採取方法」についても同様である。引用規格に記載する範囲について、日本原子力学会は、以下のように説明している²⁵⁵。

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

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

なお、附属書の参考文献として引用しています。

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

7.3.3 引用規格

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

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

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

日本原子力学会の標準作成ガイドラインに基づいているとの説明を受けた。

²⁵⁵ 第4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 4-2-2「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」回答 1

別添1 別紙に引用されている主な表と図

- 1) 図 A. 1—理論計算法の適用基本フロー
- 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
- 3) 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
- 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 図 E. 2—原廃棄物分析法の基本的な適用フロー
- 9) 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）
- 1 0) 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）
- 1 1) 図 G. 3—元素成分条件（濃度分布）の設定方法の概念フロー
- 1 2) 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
- 1 3) 表 G. 11—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（不純物成分）
- 1 4) 表 G. 12—SUS304 の化学成分の製造管理目標値
- 1 5) 表 G. 13—元素の濃度分布を対数正規分布として扱う例
- 1 6) 図 G. 5—BWR チャンネルボックスでの熱中性子フルエンス率軸方向分布の例
- 1 7) 表 I. 3—各元素の元素分析データ収集結果（ZrTN804D）
- 1 8) 表 I. 18—ZrTN804D の中性子条件及び中性子照射条件の放射化計算用データの設定結果
- 1 9) 表 I. 21—ZrTN804D の放射化計算結果（BWR チャンネルボックスの本体）

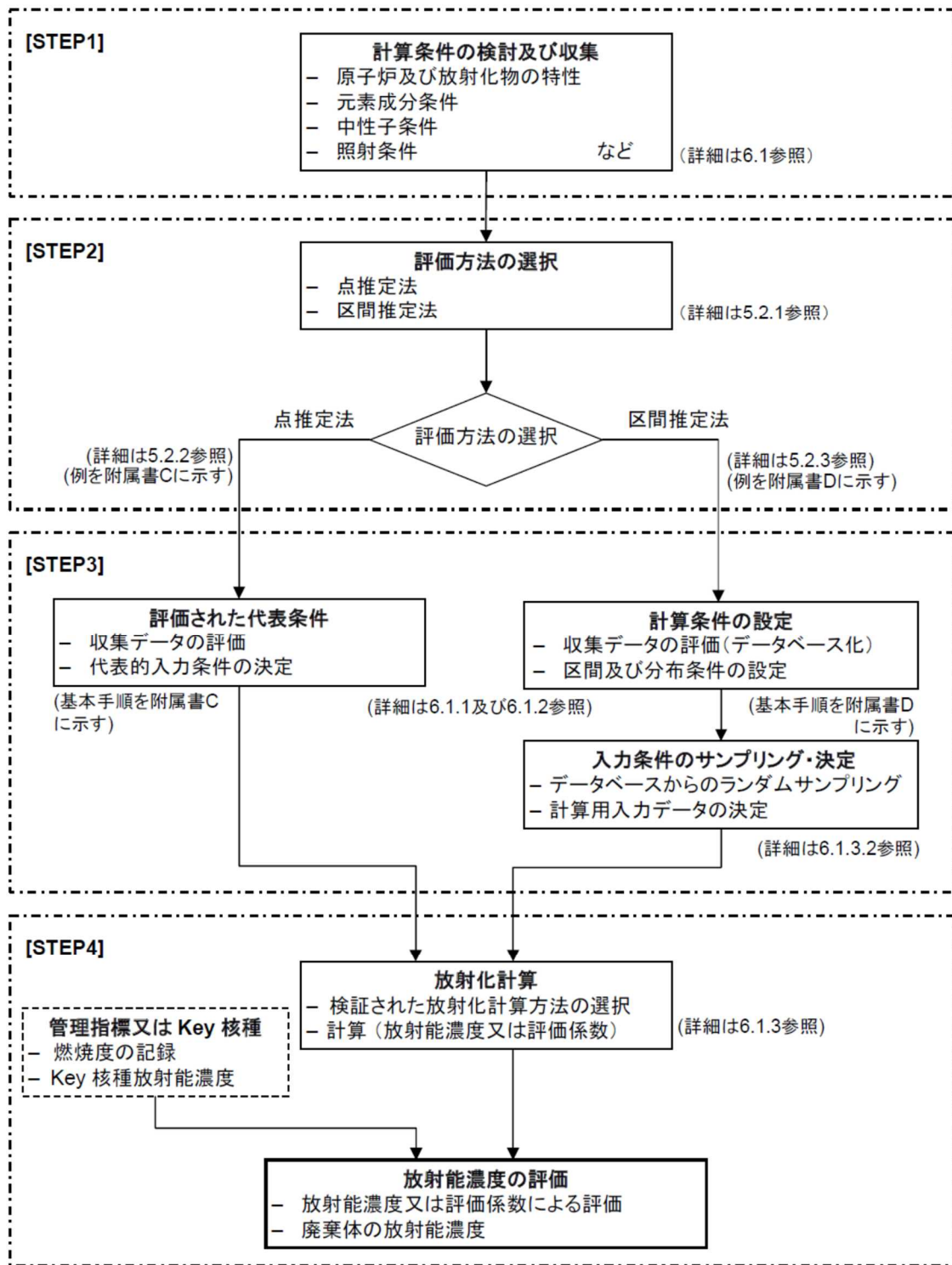


図 A. 1—理論計算法の適用基本フロー

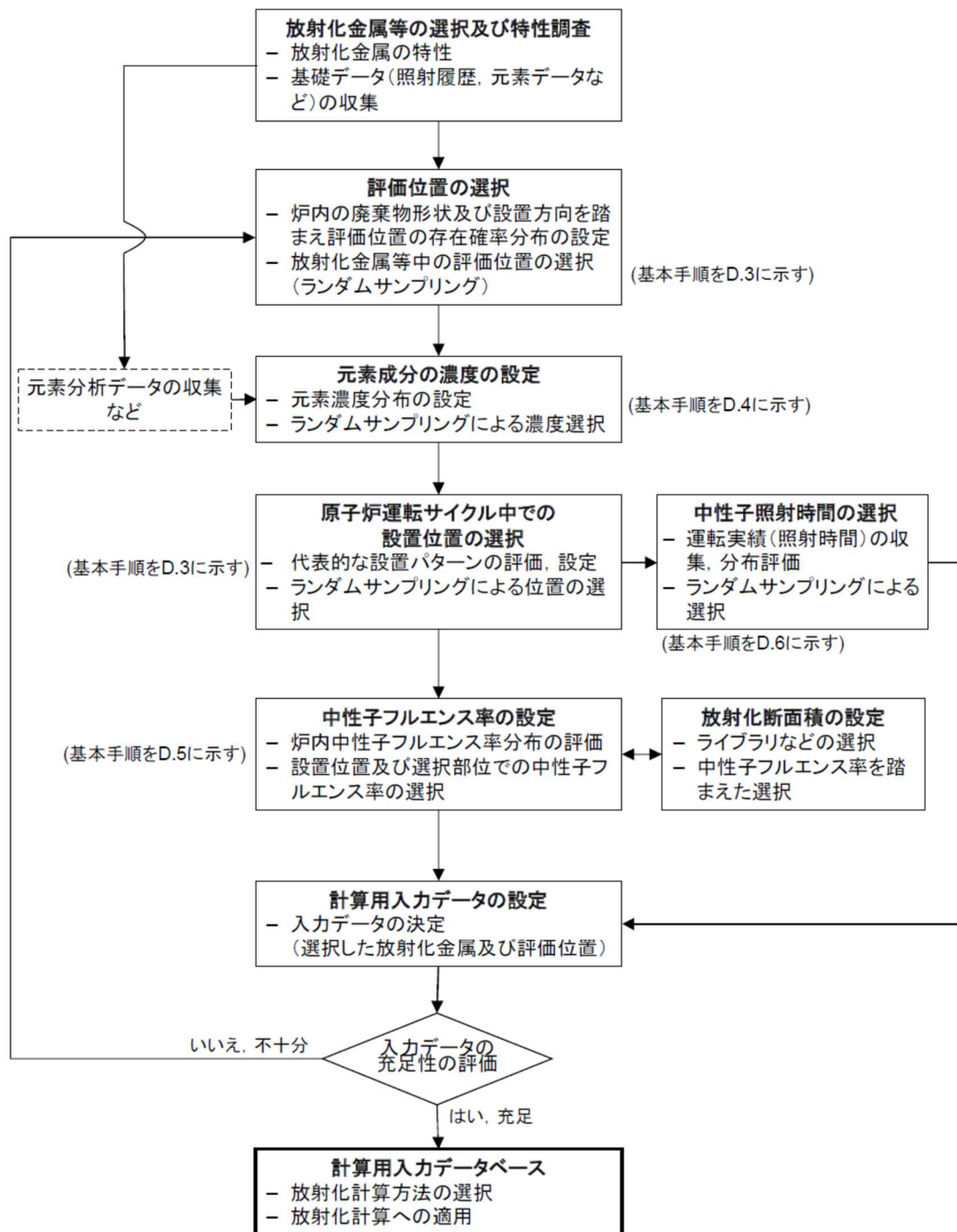


図 D.1—区間推定法による放射化計算の入力データの基本設定フロー

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

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

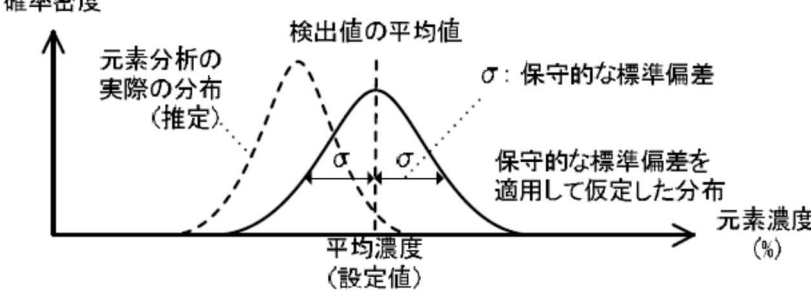
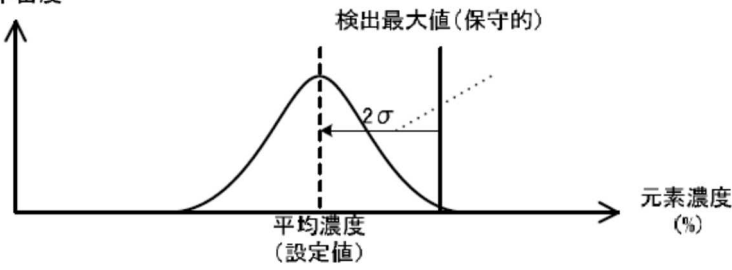
方法	方法の概要	保守性の考慮
検出値を平均値として使用する方法	元素分析データの検出値の平均値を推定する分布の平均値として適用し、加えて、保守性をもつ標準偏差を適用して、濃度分布を設定する方法	例1に示すとおり、 平均濃度： 検出値の平均値とすることで、保守性を見込む。 濃度分布の標準偏差： 保守的な標準偏差を適用して、保守性を見込む（例えば、各元素のデータ群の標準偏差の分布の90%までを包含する値など）。
<p style="text-align: center;">確率密度</p>  <p style="text-align: center;">例1 検出データの平均値を使用した元素濃度分布設定のイメージ</p>		
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、 平均濃度： 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+2σ（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。 濃度分布の標準偏差： 平均的な標準偏差などの濃度分布条件を設定する（例えば、不純物成分元素及び微量成分元素であれば、同一の元素又は化学的性質が類似した元素の分布を参考にした標準偏差を設定など）。
<p style="text-align: center;">確率密度</p>  <p style="text-align: center;">例2 検出最大値から分布を評価する場合のイメージ</p>		

表 D.6—元素分析データに検出下限値しかない元素の濃度分布条件設定方法

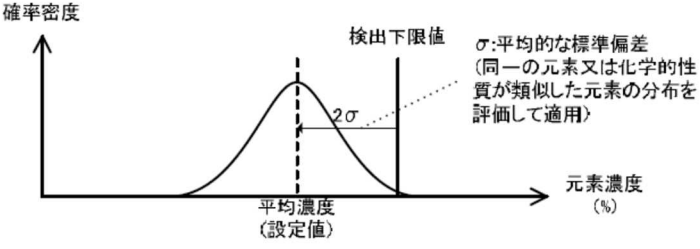
方法	方法の概要	保守性の考慮
検出下限値をそのまま使用する 方法	元素分析データの検出下限値を平均値として使用する 方法。	確認された最小の検出下限値などで元素濃度を設定すること 自体で、多大な保守性を見込む。
検出下限値以下で、元素の濃度分布を仮定する 方法	元素分析データの検出下限値を最大値とする濃度分布を、 既知の試料の標準偏差を利用して設定する方法。	<p>例 3 に示すとおり、</p> <p><u>平均濃度:</u> 分析した数が比較的多い場合は、保守的に検出下限値を濃度分布の+2σの位置とし、逆算して設定する。 分析した数自体が少ない場合は、分析した数を考慮して、保守性を考慮する。</p> <p><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）。</p>
<div style="text-align: center;">  <p>例 3 検出下限値以下で分布を設定する場合のイメージ</p> </div>		
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。

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		考慮する必要がある主な事項
燃料の条件		<ul style="list-style-type: none"> — 濃縮度 ^{a)} — 燃焼度 ^{a)} — 燃料の種類 ^{b)}
炉内位置 ^{c)}	軸方向	<ul style="list-style-type: none"> — 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	<ul style="list-style-type: none"> — 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		<ul style="list-style-type: none"> — 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)}
<p>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に変化する場合。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。</p>		

表 D.8—プラント寿命中における中性子の照射時間及び照射停止時間の基本的考え方

設定項目	照射条件の設定方法		
	設定方法	設定の基本的考え方	設定対象
照射時間 (合計)	頻度分布 による設定	<ul style="list-style-type: none"> － 評価対象とする放射化金属等の中性子の照射時間が必ずしも一律でない場合、中性子の照射時間（合計）の実績などで適切な分布形状（例えば、正規分布）を設定する。 － 設定する頻度分布は、中性子の照射時間の分布形状に応じ平均、標準偏差などによって設定する。 	チャンネルボックス、 制御棒 など
照射時間 (合計)	個別値 による設定	<ul style="list-style-type: none"> － 対象原子炉ごと及び評価対象とする放射化金属等ごとに中性子の照射実績が同じ場合は、実績を踏まえ照射時間を一律に設定する。 	シュラウド、 上部格子板など
照射停止 時間 ^{a)} (原子炉供 用期間中)	均等設定	<ul style="list-style-type: none"> － 評価対象とする放射化金属等の照射停止時間（合計）及び照射停止回数の実績によって、平均的な照射停止回数及び1回当たりの平均的な照射停止時間の割合（すなわち稼働率）を一律に設定する。 － 平均的な照射停止時間の割合で、運転サイクルごとに均等に設定する。 	全評価対象 廃棄物
	個別設定	<ul style="list-style-type: none"> － 評価対象とする放射化金属等の照射実績にあわせて、個別の照射停止時期及び照射停止時間を設定する。 	
<p>注 ^{a)} 全ての中性子の照射が終了した後の保管している経過時間は、基本的に照射条件として設定せず、評価結果に減衰補正を加えて評価することが望ましい。</p>			

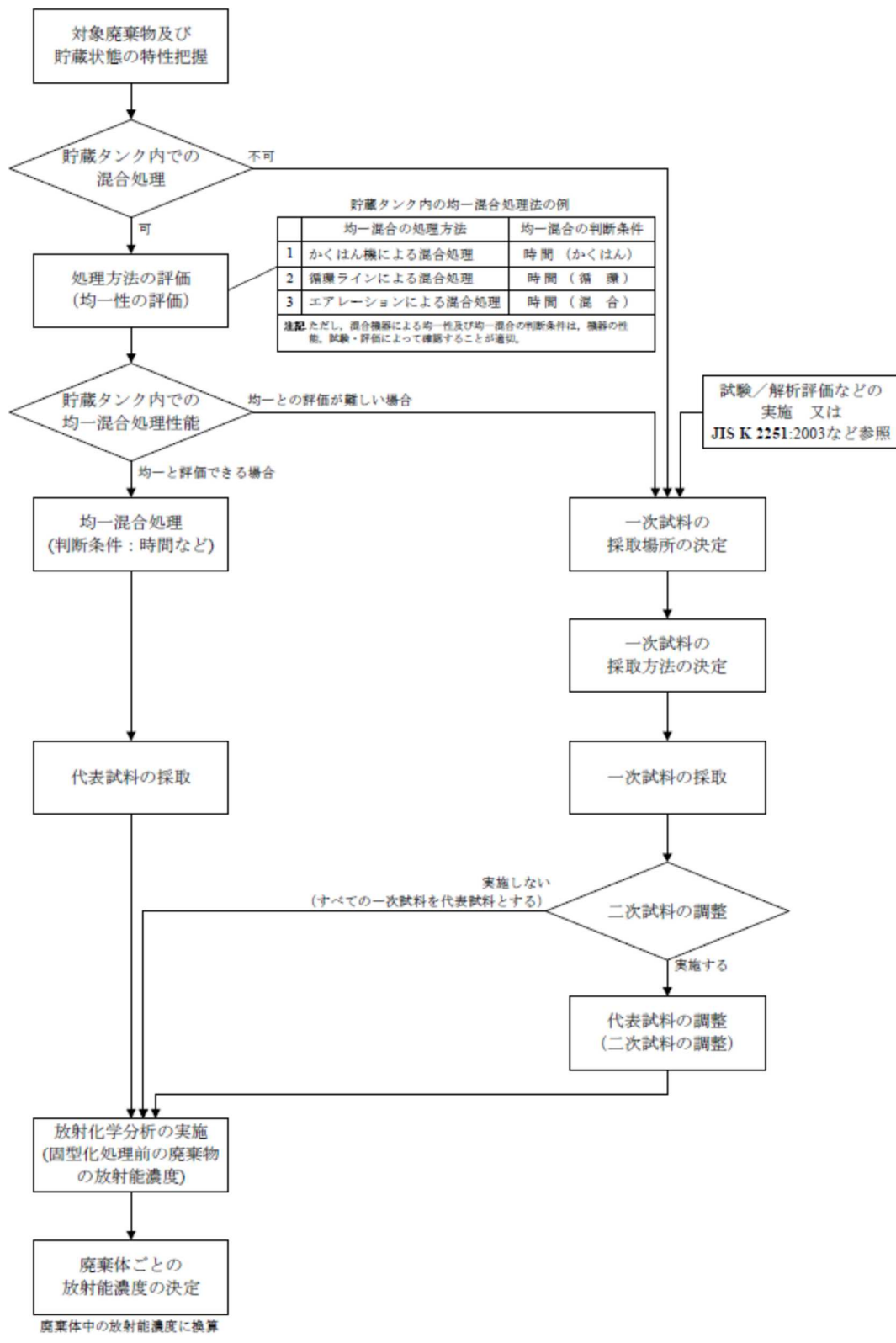


図 E.2—原廃棄物分析法の基本的な適用フロー

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）

既測元素 (1次SL ^a 後)	評価対象核種											単位: Bq
	¹⁴ C	³⁶ Cl	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	⁹⁴ Nb	⁹⁹ Tc	¹²⁹ I	¹³⁷ Cs	²³⁷ Np	全α	
H	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
He	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Li	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Be	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C	1.00 × 10 ³	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N	1.04 × 10 ¹⁰	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
O	5.51 × 10 ³	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	3.61 × 10 ³	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ne	1.36 × 10 ⁶	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na	4.91 × 10 ³	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Al	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Si	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	1.90 × 10 ³	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cl	—	5.99 × 10 ⁸	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ar	—	2.64 × 10 ⁴	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K	—	4.88 × 10 ⁶	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ca	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sc	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ti	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V	—	—	1.13 × 10 ⁶	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	—	—	4.57 × 10 ³	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	—	—	5.97 × 10 ⁷	9.45 × 10 ¹	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe	—	—	2.14 × 10 ⁹	2.34 × 10 ⁴	—	—	—	—	—	—	—	—
Co	—	—	4.87 × 10 ¹²	5.29 × 10 ⁸	—	—	—	—	—	—	—	—
Ni	—	—	4.53 × 10 ¹⁰	1.84 × 10 ¹⁰	—	—	—	—	—	—	—	—
Cu	—	—	4.84 × 10 ⁹	3.04 × 10 ⁹	—	—	—	—	—	—	—	—
Zn	—	—	2.01 × 10 ¹¹	3.07 × 10 ³	—	—	—	—	—	—	—	—
Ga	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ge	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Se	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Br	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kr	—	—	—	—	2.51 × 10 ¹⁰	—	—	—	—	—	—	—
Rb	—	—	—	—	5.14 × 10 ³	—	—	—	—	—	—	—
Sr	—	—	—	—	5.98 × 10 ³	—	—	—	—	—	—	—
Y	—	—	—	—	1.34 × 10 ⁴	—	—	—	—	—	—	—
Zr	—	—	—	—	2.41 × 10 ⁴	8.64 × 10 ⁰	4.57 × 10 ²	—	—	—	—	—
Nb	—	—	—	—	2.61 × 10 ²	3.94 × 10 ⁸	1.65 × 10 ²	—	—	—	—	—
Mo	—	—	—	—	1.88 × 10 ¹	1.60 × 10 ⁴	5.33 × 10 ³	—	—	—	—	—
Ru	—	—	—	—	—	4.47 × 10 ¹	—	—	—	—	—	—
Rh	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
In	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Te	—	—	—	—	—	—	—	3.49 × 10 ⁴	3.84 × 10 ⁴	—	—	—
I	—	—	—	—	—	—	—	4.80 × 10 ²	6.60 × 10 ⁴	—	—	—
Xe	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cs	—	—	—	—	—	—	—	—	6.16 × 10 ⁸	—	—	—
Ba	—	—	—	—	—	—	—	—	1.94 × 10 ⁹	—	—	—
La	—	—	—	—	—	—	—	—	6.16 × 10 ⁸	—	—	—
Ce	—	—	—	—	—	—	—	—	1.71 × 10 ³	—	—	—
Pr	—	—	—	—	—	—	—	—	9.66 × 10 ²	—	—	—
Nd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Eu	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Gd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Dy	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ho	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Er	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Yb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lu	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hf	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ta	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Re	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Os	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ir	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pt	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Au	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Th	—	—	—	—	5.77 × 10 ¹⁰	—	1.88 × 10 ⁶	2.04 × 10 ⁴	5.77 × 10 ¹⁰	1.92 × 10 ⁴	1.10 × 10 ⁹	—
U	—	—	—	—	9.35 × 10 ⁹	—	1.27 × 10 ⁶	8.29 × 10 ³	2.85 × 10 ¹⁰	2.41 × 10 ³	1.22 × 10 ¹⁰	—
合計	1.04 × 10 ¹⁰	6.04 × 10 ⁸	4.92 × 10 ¹²	2.30 × 10 ¹⁰	6.70 × 10 ¹⁰	3.94 × 10 ⁸	3.68 × 10 ⁶	6.84 × 10 ⁴	8.87 × 10 ¹⁰	2.16 × 10 ⁴	1.33 × 10 ¹⁰	—

注1 上記は、一次スクリーニング実施後の元素（安定同位体核種が存在する元素）に対して放射化計算を実施した結果である。
 注2 放射化計算条件は、計算コード：ORIGEN2.2、断面種ライブラリ：PWR4133、照射時間：30y、中性子フルエンス率：4.72×10¹⁴cm⁻²/y、元素量：各元素とも等量（0.001kg）
 注3 ORIGEN上の閾値（CutOff）は、3.7Bq（91.0×10⁻¹³ Ci）とした（ただし、照射時間60yでの生成量で核種生成の有無を判断）。
 注^a 1次SLは、「一次スクリーニング」を意味する。

表 G.5—三次スクリーニングで除外対象とできる元素例（ZrTN804D, SUS304 の場合の例）

三次スクリーニング対象元素	スラグとして除去	低沸点による揮発	希ガス	希少元素	還元性雰囲気による除去	用途が限定される
	原料である鉱石に含まれるが、高炉などで原料を溶解分離したときのスラグとして大半は除去。	高炉の温度が 2 000℃ 近くとなることを考慮すると、飢渴する可能性が高い（括弧内は沸点）。	岩石・鉱物に微量含まれるが、希ガスが不純物として金属に混入する可能性は、低い。	希少性が高く、不純物として金属に混入する可能性は、低い。	高炉における還元性雰囲気によって、精錬過程で除去。ただし、酸素を吹付けて脱炭する場合もある。	特定の用途に利用する場合だけに含まれる（括弧内は、利用される場合の主な用途）。
O ^{a)}	—	—	—	—	○	—
F	—	—	—	—	—	○ (フッ素コーティング)
Ne	—	—	○	—	—	—
Ar	—	—	○	—	—	—
Kr	—	—	○	—	—	—
Rb	—	○ (696℃)	—	—	—	○ (ルビジウム原子時計)
Sr	○	○ (1 639℃)	—	—	—	—
Y	○	—	—	—	—	—
Ru	—	—	—	○	—	○ (水素化触媒)
Sb	○	○ (1 640℃)	—	—	—	—
Te	○	○ (1 390℃)	—	—	—	—
I	—	—	—	—	—	○ (抗菌処理)
Xe	—	—	○	—	—	—
Cs	○	○ (760℃)	—	—	—	—
Ba	○	○ (1 537℃)	—	—	—	—
La	○	—	—	—	—	—

注記 “○” は、金属に対する三次スクリーニングが可能と考えられる対象元素を示す。
注^{a)} ZrTN804D の元素のうち、O は、機械的強度向上を目的とした添加が行われているため、評価対象（三次スクリーニングの対象外）とした。

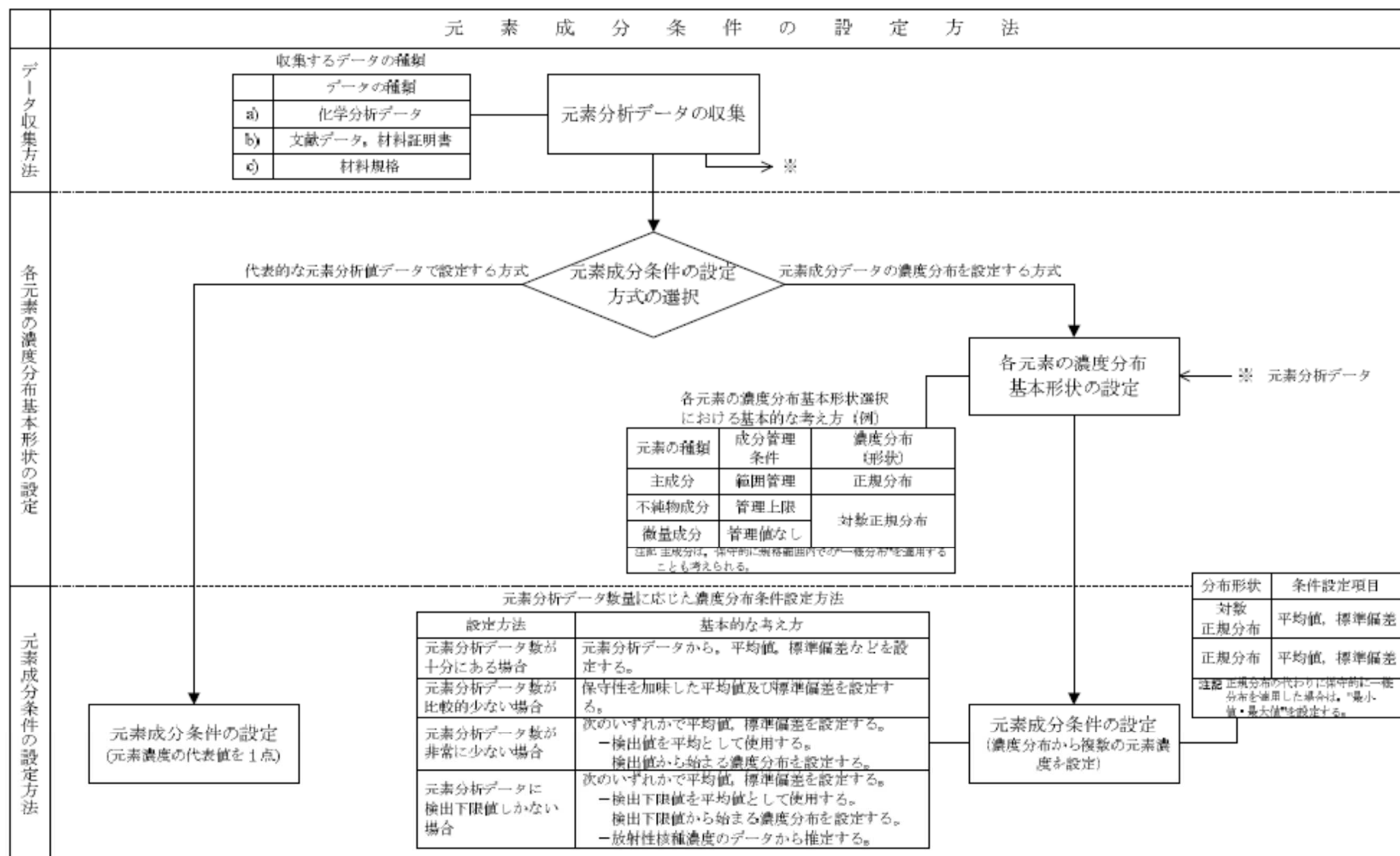


図 G.3—元素成分条件（濃度分布）の設定方法の概念フロー

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

		元素成分データの種類	
		代表分析値	分析データ群
元素成分条件の設定方式	代表値 ^{a)} による設定	評価対象とする放射化金属等ごとの点推定法 ^{a)} の場合： 同一ロットの品質サンプル又は実物の元素分析値。	評価対象とする放射化金属等ごとの点推定法 ^{a)} の場合： 複数の同一種類、品質の元素成分データの平均値など。
	濃度分布 ^{b)} による設定	—	濃度比法、換算係数法を用いる場合 ^{c)} 、濃度分布評価法を用いる場合： 複数の同一種類及び品質の元素成分データの濃度分布。
<p>注^{a)} 点推定法による評価対象とする放射化金属等（廃棄物単一及び単一廃棄物グループ）の放射化計算に使用する元素ごとの濃度の代表値を一つ設定することを意味する。</p> <p>^{b)} 放射化計算を複数実施し、評価対象とする放射化金属等の放射能濃度、又は濃度比の分布を把握するために、評価対象とする放射化金属等の元素濃度分布を実態の範囲を考慮して、元素ごとに複数の濃度（放射化計算の条件）を設定することを意味する。</p> <p>^{c)} 換算係数法を用いる場合は、設定した濃度分布によって各元素の代表値（起源元素ごと）を設定する。</p>			

表 G. 11—ZrTN804D の化学成分の製造管理目標値（不純物成分）

元素	N	Co	Ni	Cu	Nb	Mo	U
化学成分 (質量分率%)	≤0.008	≤0.002	≤0.007	≤0.005	≤0.01	≤0.005	≤0.00035

表 G. 12—SUS304 の化学成分の製造管理目標値

元素	不純物成分					主成分	
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
化学成分 (質量分率%)	≤0.08	≤1.0	≤2.0	≤0.045	≤0.03	8.0~10.5	18.0~20.0

表 G. 13—元素の濃度分布を対数正規分布として扱う例

濃度分布を対数正規分布とした例	
1 [31]	作業場内における有害物質の濃度の分布は、時間的にも空間的にも正規型の分布より左側（低濃度側）にかたよった型になることが多く、次のような理由から正規型ではなく対数正規型の分布に近いことが予測される。 a) 環境中有害物質の濃度は広い範囲にわたって分布し、最低値と最高値の比はしばしば 100 倍から 1 000 倍にもなることがある。 b) 濃度は物理的に負の値にはなり得ない。 c) 測定値の変動の大きさは測定された濃度の程度の広がりをもっている。 d) 飛び離れた非常に大きな値の得られる確率は、あまり大きなものではない。
2 [32]	食品の消費の方も、カドミウムの濃度分布の方も、モデル化というものをしており、実際にある数字を使うのではなく、それこそとんでもなく高い濃度というのはどこで出るかわからないということを考えまして、分布の尻尾に当たる方を非常に長くとするような、例えばもしも計算で間違うのであれば、消費者の保護がより確保できるような方に間違う方がいいということで、対数正規分布というモデル化をしております。・・・(中略)・・・もちろん、ほかのいろいろな違う分布をやることもありますが、今、世界では、対数正規分布というのが主に使われております。
3 [33]	一般に環境中の化学物質の分布は対数正規分布で表すことができるため、・・・(以下、省略)。
4 [34]	兵庫県下の陸水試料や環境調査としての毛髪試料を精力的に分析した。特に、毛髪試料では分析法の確立を図りながら非汚染地域の多数の試料を分析し、約 20 元素を定量し、元素ごとの特徴を明らかにした。すなわち、必須元素は正規分布に、非必須元素は対数正規分布になり、これらの中央値又は幾何平均値が環境試料中の元素濃度の取扱いに有効であることを示した。
5 [35]	河川水中の微量元素の濃度分析 全国 55 の河川から集めた 77 試料について希土類元素、トリウム及びウラニウム（16 元素）の濃度の平均値と範囲が明らかにされた。対象としたすべての元素濃度は非常に低く、高くても 100 ppt レベル、低い場合には、1 ppt 以下となった。各元素の濃度幅は非常に広く 3 桁程度の広がりを示した（津村，1991）。わが国の陸水試料約 80 点について超微量元素 38 種類を分析した結果、各元素とも濃度範囲は非常に広く頻度分布は対数正規分布をすることが分かった。
6 [36]	一般に金属鉱床では、地球化学的な元素の含量の分布の型は対数正規分布ないしは、二項分布に近い分布をするといわれているが、中津河鉱床の探鉱坑道におけるように、比較的狭い範囲から相当多数の新鮮な試料が得られた場合に限って統計すると、ウランは二項分布型、トリウムは対数正規分布型を示す。
7 [37]	元素の地殻中の品位（濃度）分布は、L. H. Ahrens によれば対数正規分布で、その最多量値は平均地殻存在度の付近にあって、鉱石品位領域では Lasky 法則に従うと論じた。
8 [38]	Geology and mining. In the Earth's crust, the concentration of elements and their radioactivity usually follow a log-normal distribution. Environment. The distribution of particles, chemicals, and organisms in the environment is often log-normal.
9 [39]	Frequency distribution plots of K, Rb, Sc, V, Co, Ga, Cr, and Zr in Ontario diabase, Sc, V, Ga, Cr, La, and Zr in Canadian granite, K, Rb, and Cs in New England granite and F and Mo in granite from various

localities are regular, but assume decided positive skewness when dispersion is large, hence, distribution of concentration is not normal. All distributions become normal, or nearly so, provided the variate (concentration of an element) is transformed to log concentration: this leads to a statement of a fundamental(lognormal) law concerning the nature of the distribution of the concentration of an element in specific igneous rocks.

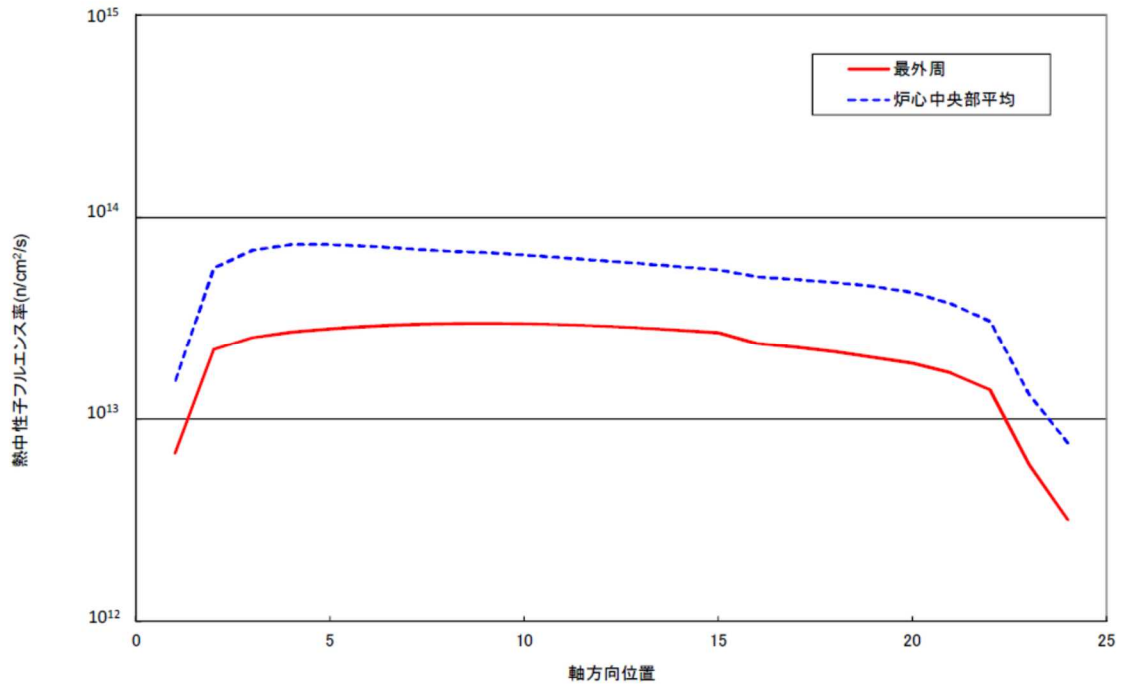


図 G. 5—BWR チャンネルボックスでの熱中性子フルエンス率軸方向分布の例

表 I. 3—各元素の元素分析データ収集結果 (ZrTN804D)

元素	元素分析データ ^{a)}							文献データ ^{b)}							成分管理目標値 (JIS H 4751 ^[3]) (質量分率%)
	データ数	対数正規分布		正規分布(実数)		一様分布		データ数	対数正規分布		正規分布(実数)		一様分布		
		平均値 (質量分率%)	標準偏差 (平均値+1σ)	平均値 (質量分率%)	標準偏差	最小値 (質量分率%)	最大値 (質量分率%)		平均値 (質量分率%)	標準偏差 (平均値+1σ)	平均値 (質量分率%)	標準偏差	最小値 (質量分率%)	最大値 (質量分率%)	
N	21 (0)	3.1×10^{-3} (-2.5)	3.7×10^{-3} (0.08)	3.2×10^{-3}	5.2×10^{-4}	2.2×10^{-3}	4.1×10^{-3}	10 (1)	2.8×10^{-3} (-2.6)	4.6×10^{-3} (0.22)	3.2×10^{-3}	2.0×10^{-3}	1.4×10^{-3}	8.0×10^{-3}	≦ 0.008 (不純物)
O	5 (0)	1.3×10^{-1} (-0.9)	1.4×10^{-1} (0.01)	1.3×10^{-1}	3.7×10^{-3}	1.3×10^{-1}	1.4×10^{-1}	5 (0)	1.1×10^{-1} (-0.9)	1.3×10^{-1} (0.05)	1.1×10^{-1}	1.3×10^{-2}	9.5×10^{-2}	1.3×10^{-1}	—
S	0 (0)	—	—	—	—	—	—	1 (0)	3.5×10^{-3} (-2.5)	—	3.5×10^{-3}	—	—	—	—
Cl	0 (21)	(5.0×10^{-4}) (-3.3)	—	(5.0×10^{-4})	—	(5.0×10^{-4})	(5.0×10^{-4})	0 (0)	—	—	—	—	—	—	—
K	0 (4)	(1.0×10^{-4}) (-4.0)	—	(1.0×10^{-4})	—	(1.0×10^{-4})	(1.0×10^{-4})	0 (0)	—	—	—	—	—	—	—
Fe	5 (0)	2.1×10^{-1} (-0.7)	2.2×10^{-1} (0.01)	2.1×10^{-1}	5.5×10^{-3}	2.1×10^{-1}	2.2×10^{-1}	18 (0)	2.1×10^{-1} (-0.7)	2.2×10^{-1} (0.03)	2.1×10^{-1}	1.3×10^{-2}	1.8×10^{-1}	2.4×10^{-1}	0.18 ~ 0.24
Co	0 (21)	(3.3×10^{-4}) (-3.5)	—	(7.6×10^{-4})	—	(1.0×10^{-5})	(1.0×10^{-3})	5 (0)	2.8×10^{-4} (-3.5)	9.0×10^{-4} (0.50)	4.7×10^{-4}	4.8×10^{-4}	1.1×10^{-4}	1.0×10^{-3}	≦ 0.002 (不純物)
Ni	11 (10)	4.2×10^{-3} (-2.4)	4.5×10^{-3} (0.04)	4.2×10^{-3}	3.4×10^{-4}	3.5×10^{-3}	4.8×10^{-3}	3 (1)	3.2×10^{-3} (-2.5)	5.1×10^{-3} (0.20)	3.5×10^{-3}	1.5×10^{-3}	2.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}	≦ 0.007 (不純物)
Cu	0 (0)	—	—	—	—	—	—	3 (0)	1.6×10^{-3} (-2.8)	2.4×10^{-3} (0.17)	1.7×10^{-3}	5.8×10^{-4}	1.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	≦ 0.005 (不純物)
Zr	16 (0)	9.8×10^1 (2.0)	—	9.8×10^1	—	9.8×10^1	9.8×10^1	1 (0)	9.8×10^1 (2.0)	—	9.8×10^1	—	—	—	残部
Nb	0 (21)	(2.9×10^{-3}) (-2.5)	—	(3.9×10^{-3})	—	(5.0×10^{-4})	(5.0×10^{-3})	1 (0)	1.2×10^{-2} (-1.9)	—	1.2×10^{-2}	—	—	—	≦ 0.010 (不純物)
Mo	0 (21)	(3.3×10^{-4}) (-3.5)	—	(7.6×10^{-4})	—	(1.0×10^{-5})	(1.0×10^{-3})	1 (1)	2.0×10^{-3} (-2.7)	—	2.0×10^{-3}	—	—	—	≦ 0.005 (不純物)
Th	0 (16)	(1.0×10^{-3}) (-5.0)	—	(1.0×10^{-5})	—	(1.0×10^{-5})	(1.0×10^{-5})	0 (0)	—	—	—	—	—	—	—
U	1 (20)	2.0×10^{-4} (-3.7)	—	(8.1×10^{-5})	—	—	—	2 (0)	3.2×10^{-5} (-4.5)	—	3.5×10^{-5}	—	2.0×10^{-5}	5.0×10^{-5}	≦ 3.5E-04 (不純物)

注記1 上記は、元素分析データ及び文献データの平均値、標準偏差などを評価した結果である。また、集計結果のうち、対数正規分布の標準偏差は、“平均値+1σ”で表示し、下段(括弧内)に対数値を合わせて表記した。
注記2 データ数は、検出値のデータ数と、その横に括弧書きで検出下限値データ数も合わせて記載した。
注記3 平均値、標準偏差などの集計結果のうち、括弧書きは、検出下限値データで集計した結果を意味する(ただし、括弧書きがない場合は、検出値データだけで集計した結果である)。
注記4 データ数が3点未満の元素は、標準偏差の欄を“—”とした。また、データ数が1点の元素は、一様分布の欄を“—”とした。
注^{a)} 元素分析データ: 放射化計算条件を設定するために事業者が評価対象廃棄物(材料)中の元素の化学分析を実施した結果^[2]
注^{b)} 文献データ: 一般公開文献情報^{[5],[6],[8],[23]~[28]}

表 I. 18—ZrTN804D の中性子条件及び中性子照射条件の放射化計算用データの設定結果

計算 No.	中性子条件 ^{a)}																	照射条件				
	軸方向位置 ^{b)}	運転 サイクル数 ^{c)}	配置 (ローテーション) ^{d)}	熱中性子フルエンス率 (n/cm ² /s)					高速中性子フルエンス率 (比)					熱外中性子フルエンス率 (比)					照射時間 (d)		照射停止時間 (d)	
				第1 サイクル	第2 サイクル	第3 サイクル	第4 サイクル	第5 サイクル	第1 サイクル	第2 サイクル	第3 サイクル	第4 サイクル	第5 サイクル	第1 サイクル	第2 サイクル	第3 サイクル	第4 サイクル	第5 サイクル	全サイクル合計	1サイクルあたり ^{e)}	全サイクル合計 ^{f)}	サイクル間あたり ^{g)}
1	2	5	K	5.6 ×10 ¹³	5.6 ×10 ¹³	5.6 ×10 ¹³	5.6 ×10 ¹³	2.2 ×10 ¹³	0.63	0.63	0.63	0.63	0.61	1.78	1.78	1.78	1.78	1.71	3 217	643	1 379	345
2	11	4	G	6.3 ×10 ¹³	6.3 ×10 ¹³	4.2 ×10 ¹³	6.3 ×10 ¹³	—	1.06	1.06	1.45	1.06	—	3.25	3.25	4.38	3.25	—	1 642	410	704	235
3	16	4	G	5.1 ×10 ¹³	5.1 ×10 ¹³	3.7 ×10 ¹³	5.1 ×10 ¹³	—	1.24	1.24	1.72	1.24	—	3.91	3.91	5.35	3.91	—	1 670	417	716	239
4	8	4	I	6.8 ×10 ¹³	6.8 ×10 ¹³	3.0 ×10 ¹³	3.0 ×10 ¹³	—	0.90	0.90	0.80	0.80	—	2.68	2.68	2.35	2.35	—	1 653	413	708	236
5	5	4	J	7.3 ×10 ¹³	3.8 ×10 ¹³	2.8 ×10 ¹³	2.8 ×10 ¹³	—	0.72	1.01	0.67	0.67	—	2.07	2.90	1.90	1.90	—	1 665	416	713	238
6	22	5	L	3.1 ×10 ¹³	3.1 ×10 ¹³	3.1 ×10 ¹³	1.4 ×10 ¹³	1.4 ×10 ¹³	1.37	1.37	1.37	1.25	1.25	4.38	4.38	4.38	3.94	3.94	2 581	516	1 106	276
7	22	1	A	3.1 ×10 ¹³	—	—	—	—	1.37	—	—	—	—	4.38	—	—	—	—	147	147	—	—
8	23	2	B	1.3 ×10 ¹³	1.3 ×10 ¹³	—	—	—	1.38	1.38	—	—	—	4.42	4.42	—	—	—	872	436	374	374
9	1	3	D	1.5 ×10 ¹³	1.5 ×10 ¹³	1.5 ×10 ¹³	—	—	0.63	0.63	0.63	—	—	1.78	1.78	1.78	—	—	1 422	474	609	305
10	19	5	K	4.6 ×10 ¹³	4.6 ×10 ¹³	4.6 ×10 ¹³	4.6 ×10 ¹³	2.0 ×10 ¹³	1.32	1.32	1.32	1.32	1.19	4.18	4.18	4.18	4.18	3.74	2 259	452	968	242
11	1	4	H	1.5 ×10 ¹³	1.5 ×10 ¹³	1.5 ×10 ¹³	6.8 ×10 ¹²	—	0.63	0.63	0.63	0.61	—	1.78	1.78	1.78	1.70	—	1 692	423	725	242
12	17	2	C	4.9 ×10 ¹³	3.8 ×10 ¹³	—	—	—	1.27	1.75	—	—	—	4.01	5.48	—	—	—	1 075	537	461	461
13	17	5	L	4.9 ×10 ¹³	4.9 ×10 ¹³	4.9 ×10 ¹³	2.3 ×10 ¹³	2.3 ×10 ¹³	1.27	1.27	1.27	1.15	1.15	4.01	4.01	4.01	3.57	3.57	2 500	500	1 071	268
14	18	4	J	4.8 ×10 ¹³	4.3 ×10 ¹³	2.1 ×10 ¹³	2.1 ×10 ¹³	—	1.29	1.79	1.17	1.17	—	4.10	5.60	3.66	3.66	—	1 687	422	723	241
15	原子炉外	3	原子炉外	1.2 ×10 ¹³	—	—	—	—	0.26	—	—	—	—	0.99	—	—	—	—	1 379	460	591	295
16	14	5	L	5.7 ×10 ¹³	5.7 ×10 ¹³	5.7 ×10 ¹³	2.8 ×10 ¹³	2.8 ×10 ¹³	1.18	1.18	1.18	1.06	1.06	3.69	3.69	3.69	3.25	3.25	2 559	512	1 097	274
17	21	3	D	3.7 ×10 ¹³	3.7 ×10 ¹³	3.7 ×10 ¹³	—	—	1.35	1.35	1.35	—	—	4.33	4.33	4.33	—	—	1 193	398	511	256
18	12	4	H	6.1 ×10 ¹³	6.1 ×10 ¹³	6.1 ×10 ¹³	2.9 ×10 ¹³	2.9 ×10 ¹³	1.11	1.11	1.11	0.99	0.99	3.41	3.41	3.41	2.99	2.99	1 556	389	667	222
19	21	2	B	3.7 ×10 ¹³	3.7 ×10 ¹³	—	—	—	1.35	1.35	—	—	—	4.33	4.33	—	—	—	744	372	319	319
20	11	5	L	6.3 ×10 ¹³	6.3 ×10 ¹³	6.3 ×10 ¹³	2.9 ×10 ¹³	2.9 ×10 ¹³	1.06	1.06	1.06	0.95	0.95	3.25	3.25	3.25	2.84	2.84	2 280	456	977	244
21	16	5	K	5.1 ×10 ¹³	5.1 ×10 ¹³	5.1 ×10 ¹³	5.1 ×10 ¹³	2.4 ×10 ¹³	1.24	1.24	1.24	1.24	1.12	3.91	3.91	3.91	3.91	3.48	1 984	397	850	213
22	原子炉外	4	原子炉外	1.2 ×10 ¹²	—	—	—	—	0.28	—	—	—	—	1.01	—	—	—	—	1 566	392	671	224
23	1	5	L	1.5 ×10 ¹³	1.5 ×10 ¹³	1.5 ×10 ¹³	6.8 ×10 ¹²	6.8 ×10 ¹²	0.63	0.63	0.63	0.61	0.61	1.78	1.78	1.78	1.70	1.70	2 855	571	1 224	306
24	12	5	K	6.1 ×10 ¹³	6.1 ×10 ¹³	6.1 ×10 ¹³	6.1 ×10 ¹³	2.9 ×10 ¹³	1.11	1.11	1.11	1.11	0.99	3.41	3.41	3.41	3.41	2.99	2 180	436	934	234
25	1	3	E	1.5 ×10 ¹³	8.9 ×10 ¹²	1.5 ×10 ¹³	—	—	0.63	0.92	0.63	—	—	1.78	2.58	1.78	—	—	1 379	460	591	296
26	15	5	L	5.5 ×10 ¹³	5.5 ×10 ¹³	5.5 ×10 ¹³	2.7 ×10 ¹³	2.7 ×10 ¹³	1.22	1.22	1.22	1.10	1.10	3.81	3.81	3.81	3.37	3.37	2 479	496	1 063	266
27	13	5	L	5.9 ×10 ¹³	5.9 ×10 ¹³	5.9 ×10 ¹³	2.8 ×10 ¹³	2.8 ×10 ¹³	1.15	1.15	1.15	1.03	1.03	3.55	3.55	3.55	3.13	3.13	2 092	418	896	224
28	6	3	E	7.2 ×10 ¹³	4.0 ×10 ¹³	7.2 ×10 ¹³	—	—	0.78	1.08	0.78	—	—	2.26	3.12	2.26	—	—	1 366	455	586	293
29	原子炉外	5	原子炉外	2.2 ×10 ¹²	—	—	—	—	0.32	—	—	—	—	1.19	—	—	—	—	2 714	543	1 163	291
30	8	3	E	6.8 ×10 ¹³	4.2 ×10 ¹³	6.8 ×10 ¹³	—	—	0.90	1.23	0.90	—	—	2.68	3.62	2.68	—	—	1 406	469	603	301
31	24	5	K	7.6 ×10 ¹²	7.6 ×10 ¹²	7.6 ×10 ¹²	7.6 ×10 ¹²	3.2 ×10 ¹²	1.38	1.38	1.38	1.38	1.26	4.43	4.43	4.43	4.43	4.00	1 858	372	796	199
32	6	5	K	7.2 ×10 ¹³	7.2 ×10 ¹³	7.2 ×10 ¹³	7.2 ×10 ¹³	2.9 ×10 ¹³	0.78	0.78	0.78	0.78	0.71	2.26	2.26	2.26	2.26	2.03	2 934	587	1 257	314
33	原子炉外	5	原子炉外	1.4 ×10 ¹²	—	—	—	—	0.22	—	—	—	—	0.77	—	—	—	—	3 009	602	1 289	322
34	20	4	H	4.2 ×10 ¹³	4.2 ×10 ¹³	4.2 ×10 ¹³	1.9 ×10 ¹³	—	1.34	1.34	1.34	1.21	—	4.26	4.26	4.26	3.81	—	1 609	402	690	230
35	5	3	E	7.3 ×10 ¹³	3.8 ×10 ¹³	7.3 ×10 ¹³	—	—	0.72	1.01	0.72	—	—	2.07	2.90	2.07	—	—	1 112	371	477	238
36	18	2	C	4.8 ×10 ¹³	4.3 ×10 ¹³	—	—	—	1.29	1.79	—	—	—	4.10	5.60	—	—	—	1 030	515	441	441
37	9	2	C	6.7 ×10 ¹³	4.3 ×10 ¹³	—	—	—	0.96	1.31	—	—	—	2.88	3.88	—	—	—	909	454	389	389
38	17	5	L	4.9 ×10 ¹³	4.9 ×10 ¹³	4.9 ×10 ¹³	2.3 ×10 ¹³	2.3 ×10 ¹³	1.27	1.27	1.27	1.15	1.15	4.01	4.01	4.01	3.57	3.57	2 217	443	950	238
39	2	5	L	5.6 ×10 ¹³	5.6 ×10 ¹³	5.6 ×10 ¹³	2.2 ×10 ¹³	2.2 ×10 ¹³	0.63	0.63	0.63	0.61	0.61	1.78	1.78	1.78	1.71	1.71	2 149	430	921	230
40	7	2	C	7.0 ×10 ¹³	4.1 ×10 ¹³	—	—	—	0.84	1.15	—	—	—	2.47	3.37	—	—	—	901	451	386	386

注: a) 中性子条件は、各サイクルの照射位置(運転パターン)ごとの熱中性子フルエンス率、高速中性子フルエンス率及び熱外中性子フルエンス率の値を、軸方向位置に応じて利用することとした。ただし、高速中性子フルエンス率と熱外中性子フルエンス率は、熱中性子フルエンス率との比(熱中性子フルエンス率で除した値)を記載。
b) BWRチャンネルボックスの軸方向位置を1(炉心下部)から25に分割し、この中からランダムに1回あたり1サイクルあたり25分割した各照射位置(分割位置=1~24)、原子炉外は、共通の照射位置(分割位置=25)として扱うこととした。
c) 運転サイクル数と配置ローテーションの詳細は、表 I.11参照。
d) 全サイクル合計の照射時間を運転サイクル数で除した値。
e) 全照射時間(全サイクル数の合計)×設備稼働率70%とした場合の照射停止時間(供用期間の30%相当)
f) サイクル間に均等に照射停止時間を設定した場合の、1回あたりの照射停止時間。例えば、サイクル数=5の場合は、照射停止時間の合計を4回(=サイクル数の数)で除した値。ただし、サイクル数=1の場合は、照射停止時間は、設定しない。

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

単位: Bq/t

計算 No.	¹⁴ C	³⁶ Cl	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	⁹⁰ Sr	⁹⁴ Nb	⁹⁹ Tc	¹²⁹ I	¹³⁷ Cs	²³⁷ Np
1	1.68 ×10 ¹¹	6.95 ×10 ⁸	2.16 ×10 ¹³	4.47 ×10 ¹¹	1.74 ×10 ⁹	3.09 ×10 ⁹	2.00 ×10 ⁷	7.09 ×10 ²	1.95 ×10 ⁹	1.16 ×10 ³
2	1.14 ×10 ¹¹	3.16 ×10 ⁸	2.86 ×10 ¹³	2.72 ×10 ¹¹	6.90 ×10 ⁹	1.47 ×10 ⁹	1.71 ×10 ⁷	4.77 ×10 ³	1.46 ×10 ¹⁰	1.52 ×10 ⁴
3	3.80 ×10 ¹⁰	2.52 ×10 ⁸	2.01 ×10 ¹³	2.16 ×10 ¹¹	1.96 ×10 ¹⁰	1.36 ×10 ⁹	2.09 ×10 ⁷	1.46 ×10 ⁴	4.43 ×10 ¹⁰	5.22 ×10 ⁴
4	7.37 ×10 ¹⁰	3.00 ×10 ⁸	2.49 ×10 ¹³	2.68 ×10 ¹¹	8.73 ×10 ⁹	2.17 ×10 ⁹	7.58 ×10 ⁶	5.98 ×10 ³	1.79 ×10 ¹⁰	1.93 ×10 ⁴
5	4.66 ×10 ¹⁰	2.46 ×10 ⁸	8.33 ×10 ¹²	2.03 ×10 ¹¹	5.24 ×10 ⁹	1.98 ×10 ⁹	4.99 ×10 ⁶	3.38 ×10 ³	1.02 ×10 ¹⁰	1.14 ×10 ⁴
6	3.95 ×10 ¹⁰	2.19 ×10 ⁸	1.24 ×10 ¹³	1.49 ×10 ¹¹	1.06 ×10 ¹⁰	2.45 ×10 ⁹	1.33 ×10 ⁷	8.06 ×10 ³	2.29 ×10 ¹⁰	3.22 ×10 ⁴
7	3.77 ×10 ⁹	1.59 ×10 ⁷	1.88 ×10 ¹²	1.67 ×10 ¹⁰	1.82 ×10 ⁹	8.15 ×10 ⁷	1.17 ×10 ⁶	5.31 ×10 ²	2.34 ×10 ⁹	4.01 ×10 ³
8	4.31 ×10 ⁹	5.99 ×10 ⁷	2.97 ×10 ¹²	4.05 ×10 ¹⁰	6.97 ×10 ⁸	3.38 ×10 ⁸	1.44 ×10 ⁶	2.92 ×10 ²	1.02 ×10 ⁹	1.74 ×10 ³
9	1.46 ×10 ¹⁰	6.51 ×10 ⁷	6.97 ×10 ¹²	5.13 ×10 ¹⁰	1.67 ×10 ¹⁰	2.94 ×10 ⁸	4.99 ×10 ⁶	7.18 ×10 ³	2.51 ×10 ¹⁰	2.88 ×10 ⁴
10	7.34 ×10 ¹⁰	1.23 ×10 ⁸	3.83 ×10 ¹³	2.29 ×10 ¹¹	2.35 ×10 ⁹	3.43 ×10 ⁹	2.50 ×10 ⁷	1.11 ×10 ³	3.11 ×10 ⁹	2.89 ×10 ³
11	1.17 ×10 ¹⁰	8.48 ×10 ⁷	4.43 ×10 ¹²	6.45 ×10 ¹⁰	6.69 ×10 ⁸	7.31 ×10 ⁸	6.82 ×10 ⁵	2.93 ×10 ²	9.89 ×10 ⁸	1.15 ×10 ³
12	3.81 ×10 ¹⁰	3.70 ×10 ⁸	1.85 ×10 ¹³	1.39 ×10 ¹¹	1.84 ×10 ⁹	7.42 ×10 ⁸	1.19 ×10 ⁷	9.98 ×10 ²	3.02 ×10 ⁹	4.30 ×10 ³
13	1.18 ×10 ¹¹	3.25 ×10 ⁸	1.37 ×10 ¹³	2.98 ×10 ¹¹	3.91 ×10 ⁹	3.27 ×10 ⁹	1.96 ×10 ⁷	2.51 ×10 ³	7.16 ×10 ⁹	7.39 ×10 ³
14	2.55 ×10 ¹⁰	2.42 ×10 ⁸	2.20 ×10 ¹³	1.41 ×10 ¹¹	2.28 ×10 ⁹	1.91 ×10 ⁹	8.61 ×10 ⁶	1.37 ×10 ³	3.96 ×10 ⁹	5.21 ×10 ³
15	8.63 ×10 ⁹	6.92 ×10 ⁷	1.31 ×10 ¹³	4.62 ×10 ¹⁰	2.62 ×10 ⁸	1.57 ×10 ⁸	2.78 ×10 ⁵	9.20 ×10 ¹	3.42 ×10 ⁸	2.06 ×10 ²
16	1.42 ×10 ¹¹	4.27 ×10 ⁸	10.00 ×10 ¹²	3.52 ×10 ¹¹	9.76 ×10 ⁹	4.50 ×10 ⁹	2.28 ×10 ⁷	7.42 ×10 ³	2.16 ×10 ¹⁰	2.01 ×10 ⁴
17	6.99 ×10 ¹⁰	4.75 ×10 ⁸	2.16 ×10 ¹³	1.62 ×10 ¹¹	8.58 ×10 ⁹	2.98 ×10 ⁹	1.20 ×10 ⁷	5.47 ×10 ³	1.68 ×10 ¹⁰	2.42 ×10 ⁴
18	3.26 ×10 ¹⁰	2.42 ×10 ⁸	1.70 ×10 ¹³	2.62 ×10 ¹¹	7.16 ×10 ⁹	2.30 ×10 ⁹	1.19 ×10 ⁷	5.07 ×10 ³	1.50 ×10 ¹⁰	1.57 ×10 ⁴
19	1.65 ×10 ¹⁰	1.17 ×10 ⁸	1.23 ×10 ¹³	7.30 ×10 ¹⁰	3.54 ×10 ⁹	1.36 ×10 ⁹	4.53 ×10 ⁶	1.93 ×10 ³	6.23 ×10 ⁹	9.66 ×10 ³
20	7.10 ×10 ¹⁰	3.30 ×10 ⁸	2.46 ×10 ¹³	2.75 ×10 ¹¹	1.75 ×10 ¹⁰	2.90 ×10 ⁹	1.90 ×10 ⁷	1.38 ×10 ⁴	4.08 ×10 ¹⁰	3.90 ×10 ⁴
21	1.00 ×10 ¹¹	2.30 ×10 ⁸	1.98 ×10 ¹³	2.79 ×10 ¹¹	3.31 ×10 ¹⁰	3.07 ×10 ⁹	3.23 ×10 ⁷	2.60 ×10 ⁴	7.76 ×10 ¹⁰	8.58 ×10 ⁴
22	6.23 ×10 ⁸	7.05 ×10 ⁶	8.42 ×10 ¹¹	5.11 ×10 ⁹	2.05 ×10 ⁸	2.08 ×10 ⁷	5.43 ×10 ⁴	4.47 ×10 ¹	2.22 ×10 ⁸	1.26 ×10 ²
23	5.41 ×10 ¹⁰	1.66 ×10 ⁸	6.53 ×10 ¹²	1.09 ×10 ¹¹	1.07 ×10 ⁹	6.25 ×10 ⁸	1.91 ×10 ⁶	5.72 ×10 ²	1.72 ×10 ⁹	2.12 ×10 ³
24	1.50 ×10 ¹¹	5.91 ×10 ⁸	4.33 ×10 ¹³	3.87 ×10 ¹¹	1.76 ×10 ¹⁰	2.16 ×10 ⁹	2.90 ×10 ⁷	1.38 ×10 ⁴	4.13 ×10 ¹⁰	3.75 ×10 ⁴
25	5.39 ×10 ⁹	1.46 ×10 ⁸	3.45 ×10 ¹²	5.27 ×10 ¹⁰	1.23 ×10 ⁹	5.93 ×10 ⁸	9.51 ×10 ⁵	5.05 ×10 ²	1.79 ×10 ⁹	2.14 ×10 ³
26	6.61 ×10 ¹⁰	2.26 ×10 ⁸	4.30 ×10 ¹³	3.30 ×10 ¹¹	7.53 ×10 ⁹	4.54 ×10 ⁹	2.54 ×10 ⁷	5.28 ×10 ³	1.52 ×10 ¹⁰	1.44 ×10 ⁴
27	5.16 ×10 ¹⁰	8.60 ×10 ⁸	4.22 ×10 ¹³	2.93 ×10 ¹¹	6.89 ×10 ⁹	1.21 ×10 ⁹	1.83 ×10 ⁷	4.95 ×10 ³	1.46 ×10 ¹⁰	1.51 ×10 ⁴
28	8.90 ×10 ¹⁰	4.84 ×10 ⁸	1.69 ×10 ¹³	2.27 ×10 ¹¹	6.72 ×10 ⁹	2.53 ×10 ⁹	9.38 ×10 ⁶	4.44 ×10 ³	1.39 ×10 ¹⁰	1.45 ×10 ⁴
29	3.07 ×10 ⁹	3.30 ×10 ⁷	2.82 ×10 ¹²	1.70 ×10 ¹⁰	3.00 ×10 ⁸	2.06 ×10 ⁸	1.14 ×10 ⁵	8.63 ×10 ¹	3.56 ×10 ⁸	2.49 ×10 ²
30	7.64 ×10 ¹⁰	2.46 ×10 ⁸	1.66 ×10 ¹³	2.35 ×10 ¹¹	7.51 ×10 ⁹	1.14 ×10 ⁹	7.78 ×10 ⁶	5.11 ×10 ³	1.59 ×10 ¹⁰	1.72 ×10 ⁴
31	1.05 ×10 ¹⁰	5.41 ×10 ⁷	5.39 ×10 ¹²	3.97 ×10 ¹⁰	2.03 ×10 ⁹	3.32 ×10 ⁸	1.10 ×10 ⁶	9.51 ×10 ²	3.11 ×10 ⁹	5.66 ×10 ³
32	1.58 ×10 ¹¹	5.45 ×10 ⁸	4.02 ×10 ¹³	4.63 ×10 ¹¹	1.37 ×10 ¹⁰	6.13 ×10 ⁹	2.80 ×10 ⁷	1.01 ×10 ⁴	3.02 ×10 ¹⁰	1.83 ×10 ⁴
33	1.99 ×10 ⁹	1.90 ×10 ⁷	4.74 ×10 ¹¹	1.24 ×10 ¹⁰	8.46 ×10 ⁷	2.93 ×10 ⁷	1.09 ×10 ⁵	2.19 ×10 ¹	9.54 ×10 ⁷	4.79 ×10 ¹
34	4.42 ×10 ¹⁰	4.18 ×10 ⁸	2.05 ×10 ¹³	1.88 ×10 ¹¹	1.12 ×10 ⁹	2.32 ×10 ⁹	6.19 ×10 ⁶	5.17 ×10 ²	1.47 ×10 ⁹	1.72 ×10 ³
35	1.15 ×10 ¹⁰	2.72 ×10 ⁸	1.13 ×10 ¹³	1.82 ×10 ¹¹	1.23 ×10 ⁹	1.58 ×10 ⁹	3.89 ×10 ⁶	5.83 ×10 ²	1.73 ×10 ⁹	1.56 ×10 ³
36	4.64 ×10 ¹⁰	2.21 ×10 ⁸	2.17 ×10 ¹³	1.60 ×10 ¹¹	2.69 ×10 ⁹	1.04 ×10 ⁹	8.81 ×10 ⁶	1.57 ×10 ³	4.83 ×10 ⁹	7.12 ×10 ³
37	9.83 ×10 ⁹	1.28 ×10 ⁹	3.44 ×10 ¹³	1.31 ×10 ¹¹	1.85 ×10 ⁹	6.89 ×10 ⁸	3.71 ×10 ⁶	1.04 ×10 ³	3.25 ×10 ⁹	4.48 ×10 ³
38	3.57 ×10 ¹⁰	2.90 ×10 ⁸	2.43 ×10 ¹³	2.73 ×10 ¹¹	7.61 ×10 ⁹	3.30 ×10 ⁹	1.33 ×10 ⁷	5.62 ×10 ³	1.64 ×10 ¹⁰	1.88 ×10 ⁴
39	9.38 ×10 ¹⁰	1.76 ×10 ⁸	2.20 ×10 ¹³	2.47 ×10 ¹¹	3.22 ×10 ⁹	1.70 ×10 ⁹	7.64 ×10 ⁶	2.12 ×10 ³	6.23 ×10 ⁹	6.11 ×10 ³
40	3.32 ×10 ¹⁰	1.82 ×10 ⁸	1.25 ×10 ¹³	1.51 ×10 ¹¹	1.71 ×10 ⁹	1.82 ×10 ⁹	3.31 ×10 ⁶	9.39 ×10 ²	2.97 ×10 ⁹	3.92 ×10 ³

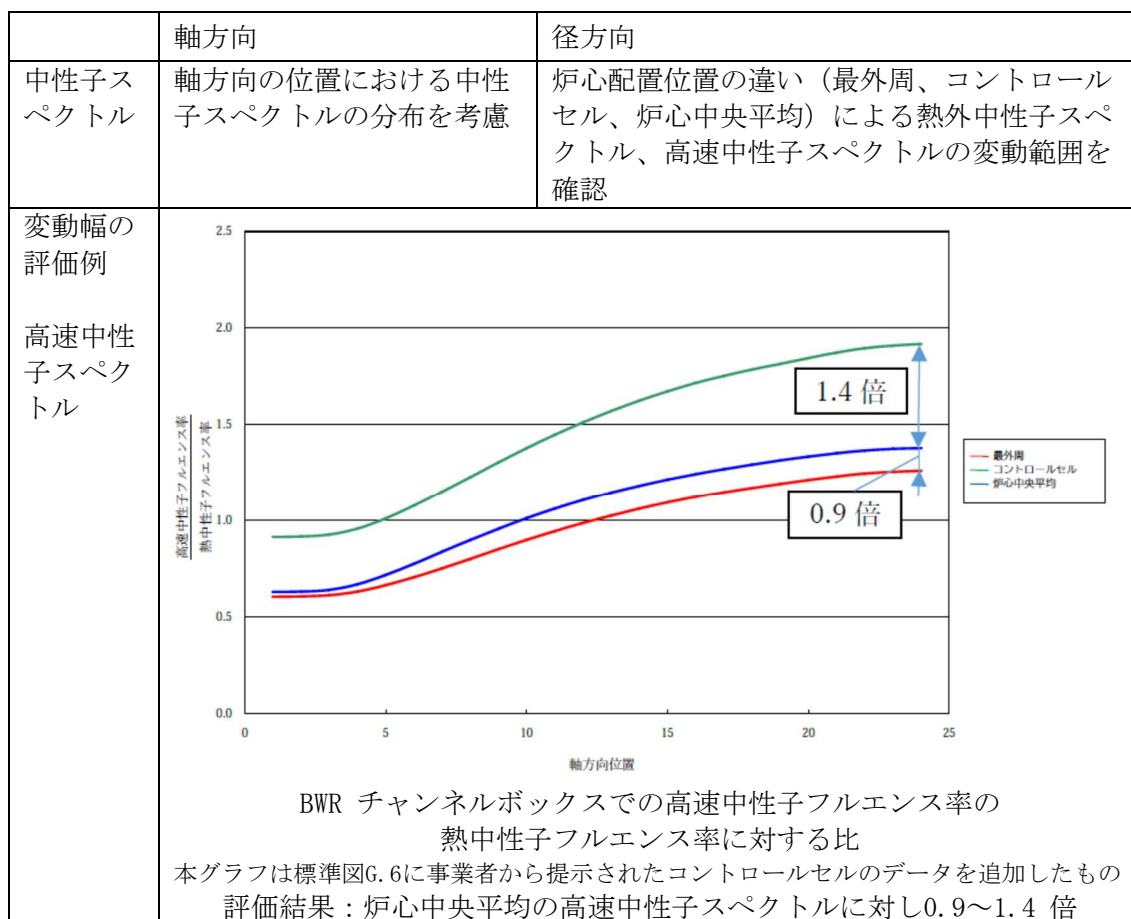
別添2 換算係数法計算例（BWRチャンネルボックス）の中性子条件設定について

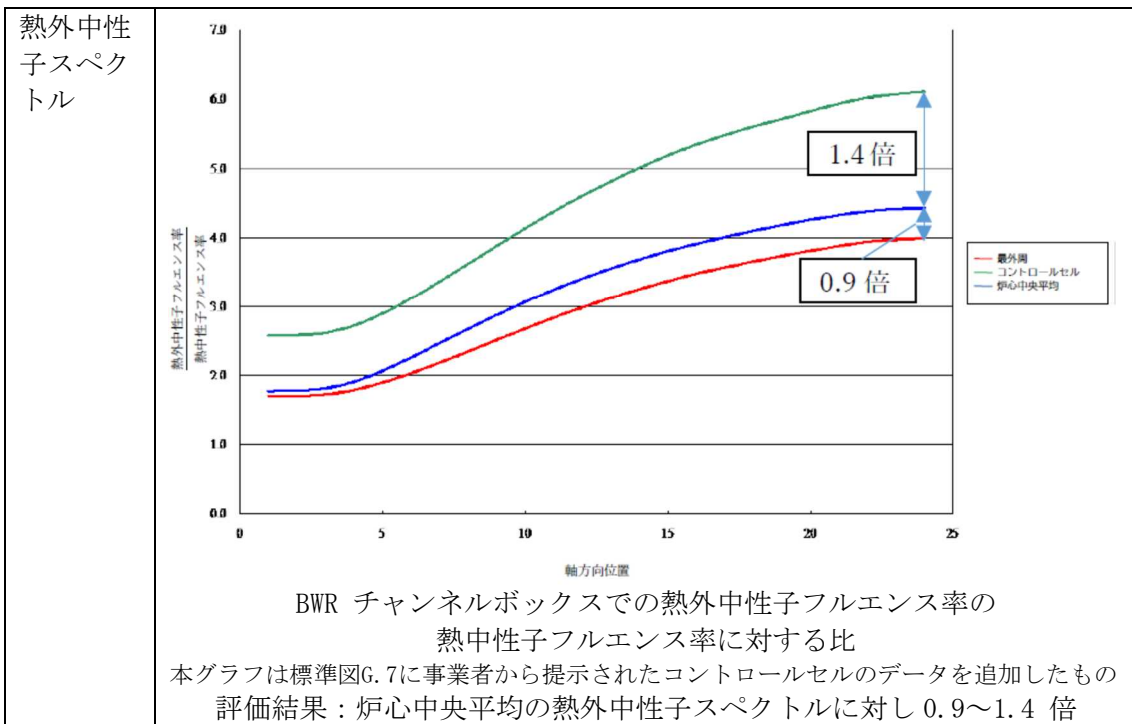
(1) 炉心配置位置の違いによる中性子スペクトルの変動幅について

BWRの径方向の炉心配置位置（最外周、コントロールセル（注1）、炉心中央平均）の違いによる中性子スペクトルの変動幅の評価として、熱中性子フルエンス率に対する高速中性子フルエンス率及び熱外中性子フルエンス率の比率がどの程度変動するか評価した結果を図に示します。

図に示すとおり、高速中性子、熱外中性子ともに径方向の炉心配置位置の違いによる中性子スペクトルの変動は、炉心中央平均の中性子スペクトル（下図グラフの青線）に対して0.9（グラフの赤線）～1.4倍（グラフの緑線）（-10%～+40%）程度の範囲となります。

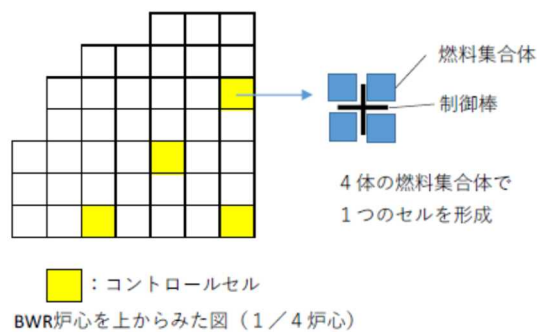
炉心配置位置による中性子スペクトルの変動範囲





注1：コントロールセルとは、BWR の出力運転中に反応度制御のために制御棒を挿入するセルをいう。一般的にコントロールセルの位置は限定され、燃烧の進んだ燃料が装荷される。

コントロールセルは運転中も制御棒を挿入しているため、当該セルの中性子フルエンス率は低くなり、またスペクトルは炉心平均と比較して高速、熱外中性子の寄与が高くなる。



(2) 中性子スペクトルの違いによる放射化放射エネルギーの変動範囲について

(1)で評価した炉心配置位置の違いによる高速中性子及び熱外中性子のスペクトルの変動が放射化放射エネルギーに及ぼす影響を確認するため、スペクトルインデックスを任意に設定できる ORIGEN79 コードを用い、高速中性子及び熱外中性子のスペクトルインデックスを0～10倍に振って、放射化放射エネルギーの感度を評価しました。感度解析は、埋設施設の申請核種を想定した核種に対し実施しました。

各解析ケースにおいては、基本ケース (F4：基本ケース1、R2：基本ケース2) から

高速中性子、熱外中性子についてそれぞれ桁で振ってスペクトルインデックスの違いに対する放射化放射エネルギーの感度解析を実施しました。（下表参照：高速中性子スペクトルインデックスの感度解析条件：F4（基本ケース1）とF5、熱外中性子スペクトルインデックスの感度解析条件：R2（基本ケース2）とR4）

感度解析結果のうち、感度が高かった核種の結果例を下図に示します。Ni-63 と Tc-99 の放射化放射エネルギーについて、各基本ケースに対する比較ケースにおける放射化放射エネルギーの比を見ると、高速中性子に対して感度はありませんでした。一方、熱外中性子に対しては、スペクトルインデックスが10倍になるとNi-63の生成量は約3～8倍（比例係数（注2）で0.3～0.8）となり、Tc-99の生成量は約3～9倍（比例係数で0.3～0.9）となりました。その他の核種についても同様な傾向を示しました。

以上より、中性子スペクトルの変動による放射化放射エネルギーへの影響は、高速中性子スペクトルの変動比率に対しては感度はなく、熱外中性子スペクトルの変動比率に対する放射化放射エネルギーの変動比率は最大でも0.9倍程度であることを確認しました。

注2：比較ケースの生成放射能比／比較ケースの中性子フルエンス率比

（各々の比は基本ケースとの比を意味します）

表 中性子スペクトルの違いに対する放射化放射エネルギーの感度解析条件（ORIGEN index）

感度解析のケース		中性子スペクトルインデックス			中性子束 (cm ⁻² ・sec ⁻¹)		
		高速中性子	熱外中性子	熱中性子	高速中性子	熱外中性子	熱中性子
F4	基本ケース1 (高速中性子の影響評価)	1	0	0.64169	6.9E13	0.0E00	1.0E14
F5	高速中性子のスペクトルインデックスを10倍に設定したケース	10	0	0.64169	6.9E14	0.0E00	1.0E14
R2	基本ケース2 (熱外中性子の影響評価)	0	0.1	0.64169	0.0E00	1.45E14	1.0E14
R4	熱外中性子のスペクトルインデックスを10倍に設定したケース	0	1	0.64169	0.0E00	1.45E15	1.0E14

事業者より提供されたデータ

中性子スペクトルの変動による放射化放射エネルギーの変動範囲

高速中性子スペクトルの変動に対する生成量の影響評価例

(1) ^{63}Ni ($^{62}\text{Ni}(n, \gamma)^{63}\text{Ni}$ 反応)

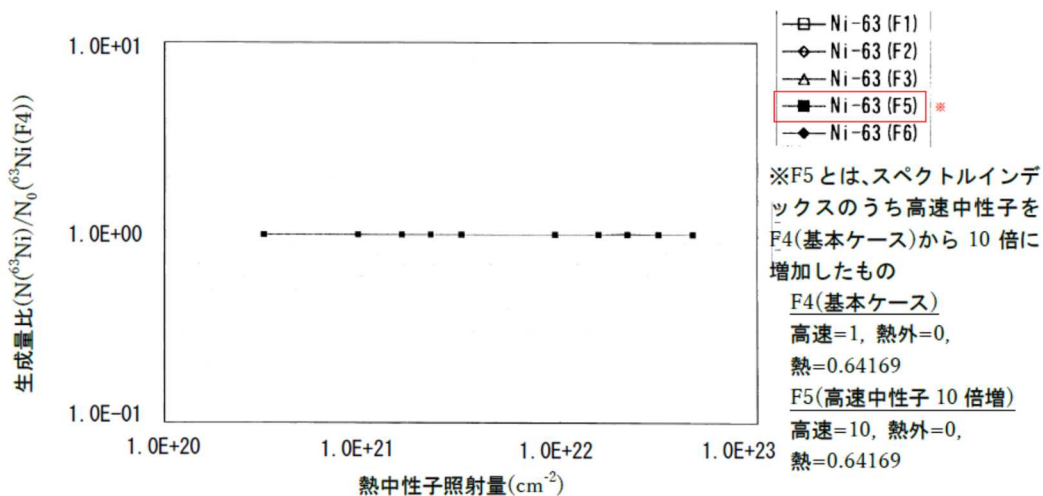


図 4.3.1-38 $^{62}\text{Ni}(n, \gamma)^{63}\text{Ni}$ のスペクトル感度 (高速中性子)

^{63}Ni の放射化放射エネルギーは、高速中性子スペクトルインデックスの変動に影響を受けなかった。

(2) ^{99}Tc ($^{98}\text{Mo}(n, \gamma)^{99}\text{Mo}(\beta^-)^{99}\text{Tc}$ 反応)

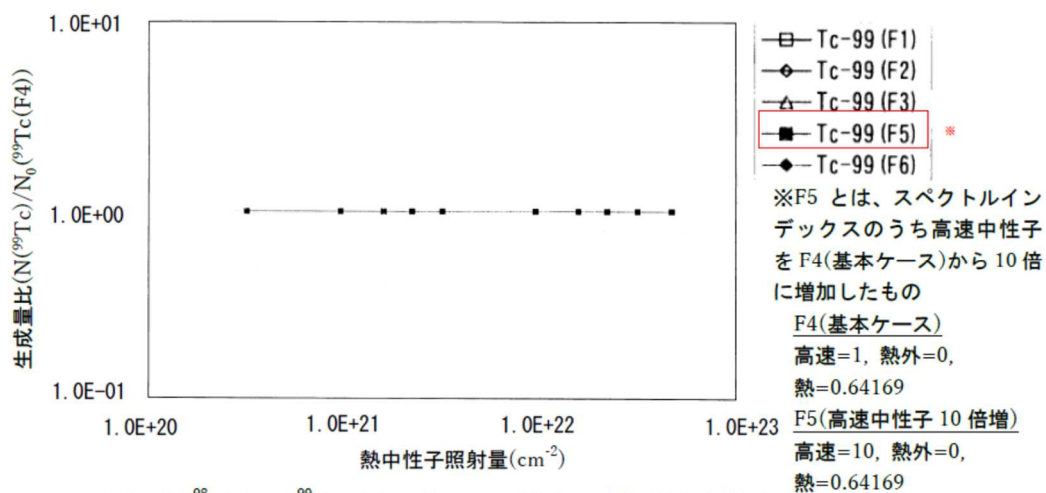


図 4.3.1-51 $^{98}\text{Mo}(n, \gamma)^{99}\text{Mo}(\beta^-)^{99}\text{Tc}$ のスペクトル感度 (高速中性子)

^{99}Tc の放射化放射エネルギーは、高速中性子スペクトルインデックスの変動に影響を受けなかった。

熱外中性子スペク

(1) ^{63}Ni ($^{62}\text{Ni}(n, \gamma)^{63}\text{Ni}$ 反応)

ト
ル
の
変
動
に
対
す
る
核
種
生
成
量
の
影
響
評
価
例

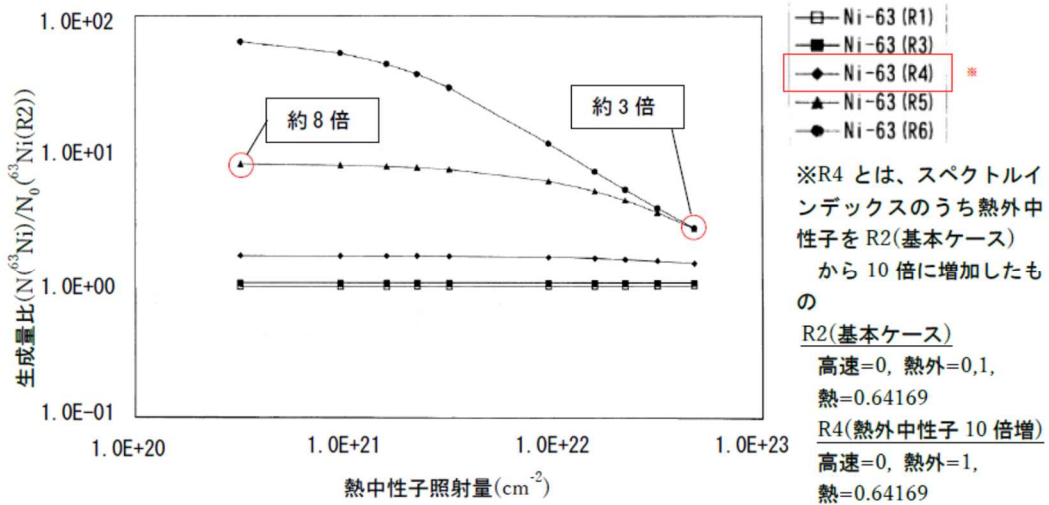


図 4.3.1-39 $^{62}\text{Ni}(n, \gamma)^{63}\text{Ni}$ のスペクトル感度 (熱外中性子)

熱外中性子スペクトルインデックスの変動比率に対する ^{63}Ni 生成反応の感度は、熱外中性子の基本ケース (R2) から熱外中性子の 10 倍増に対し、 ^{63}Ni 放射化放射量は約 3~8 倍増 (比率 0.3~0.8) であった。

(2) ^{99}Tc ($^{98}\text{Mo}(n, \gamma)^{99}\text{Mo} (\beta^-)^{99}\text{Tc}$ 反応)

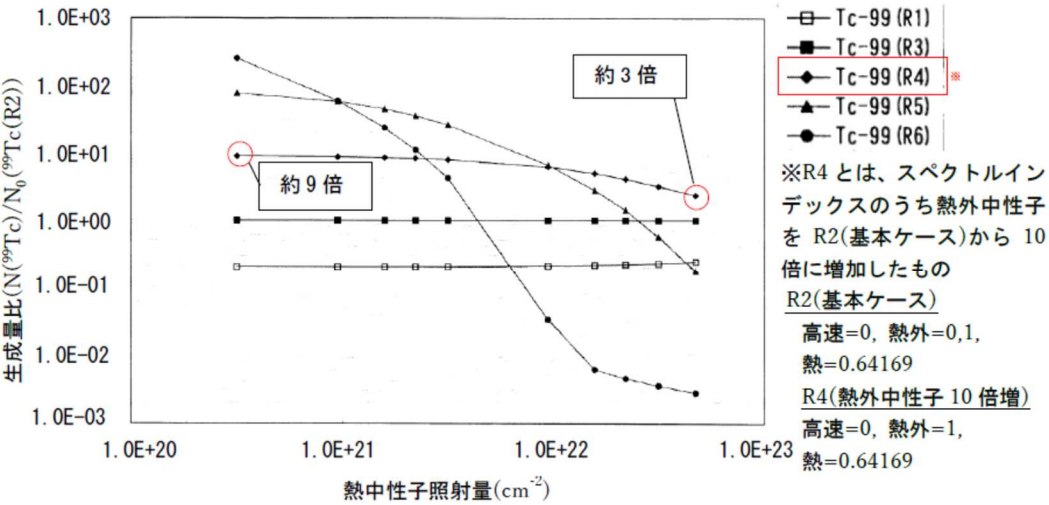


図 4.3.1-52 $^{98}\text{Mo}(n, \gamma)^{99}\text{Mo} (\beta^-)^{99}\text{Tc}$ のスペクトル感度 (熱外中性子)

熱外中性子スペクトルインデックス変動に対する ^{99}Tc 生成反応の感度は、熱外中性子の基本ケース (R2) から熱外中性子の 10 倍増に対し、 ^{99}Tc 放射化放射量は約 3~9 倍増 (比率 0.3~0.9) であった。

事業者より提供されたデータ

(3) 炉心配置位置の違いによる放射化放射量の影響評価

(1) (2) の結果より、径方向の炉心配置位置の違いによる中性子スペクトルの変動範囲は、炉心平均のスペクトルに対して高速、熱外ともに 0.9~1.4 倍 (-10%~+40%) 程度

となっています。また、スペクトルの変動による放射化放射エネルギーへの影響は高速中性子スペクトルの変動に対しては影響がなく、熱外中性子スペクトルの変動比率に対する放射化放射エネルギーの感度は最大でも0.9倍であることから、炉心配置位置の違いによる放射化放射エネルギーの影響は、-9%～+36%程度となることがわかります。

なお+36%となるのはチャンネルボックスがコントロールセルに配置されている場合となりますが、実際にはチャンネルボックスは炉心内をローテーションして使用されますのでコントロールセルのみに配置されることはなく、炉心配置位置の違いによる中性子スペクトルの変動によって生じる放射化放射エネルギーへの影響はさらに小さなものになります。

上記評価は、燃料タイプの違い等による影響を考慮する必要があり、また申請核種確定後に放射化放射エネルギーの感度解析の追加評価が必要になると考えられますが、その場合でも上記に示した中性子条件設定のための手順を適用できるものと考えています。炉心平均（径方向）の中性子条件を適用するための確認手順を下図に示します。

今後、中深度処分施設の事業許可申請が行われる時期までに、実機プラントでの両者の計算結果の比較例が蓄積され、本手順の妥当性の定量的な根拠がより明確になることが期待されます。

別添3 放射化計算結果の妥当性確認について

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

放射化によって生成する核種の放射能は、中性子の照射時間が生成する核種の半減期に比べて短いなどの条件では、次式のように近似的に表されます。(附属書D参照)

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

ここに、A：評価対象とする放射化金属等の放射能濃度 (Bq/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/s)

t：中性子の照射時間 (s)

λ ：生成核種の崩壊定数 (s⁻¹)

さらに、放射能濃度の減衰は下式で考慮できるため、

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

ここに、

λ ：生成核種の崩壊定数 (s⁻¹)

T：冷却時間 (s)

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

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

① ② ③ ④

表 I. 21 (別添1 参照) に BWR チャンネルボックスの本体の放射化計算結果が示されていますが、この計算 No. 13 及び 38 の ⁶⁰Co 放射能濃度を参照して、放射化計算結果の妥当性確認の具体例を説明します。

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

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

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

この放射化計算条件は表 I. 17 の元素成分条件と表 I. 18 (別添1 参照) の中性子条件及び

中性子照射条件であります。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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