

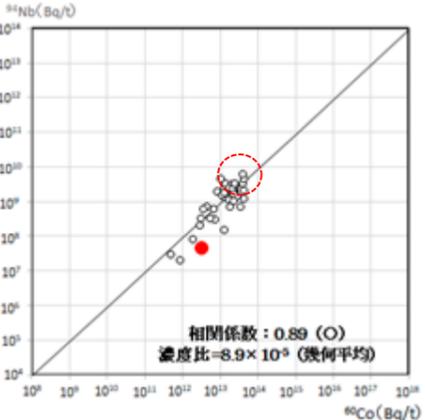
規定	説明して欲しい内容	点推定法	区間推定法	換算係数法	濃度分布評価法
			濃度比法		
6.1.2.2 元素成分条件	—	—	—		
6.1.2.2.1 起源元素の選定方法	<ul style="list-style-type: none"> どのように起源元素を選定したか その結果、どの起源元素を選定したか スクリーニングをした場合、その理由とスクリーニングの内容 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>起源元素は、評価対象とする放射化金属等の種類(材料)ごとに、次の考え方を踏まえ、選定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 起源元素は、不純物、又は微量元素として存在していると考えられる元素とともに、評価する材料の化学組成から選定する。 評価対象核種(評価対象核種と相関関係をもつKey核種を含む)を生成する元素は、起源元素として抽出しなければならない。 <p>なお、起源元素は、次のステップ(全て又はいずれか)によって、対象からスクリーニングすることができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉内で放射化によって生成する放射性同位体は、起源元素から除外できる。ただし、天然に広く存在する放射性同位体は除外しない。 例 Pu などのように材料の放射化によって生成する放射性同位体。 評価対象核種を生成しない元素は、起源元素から除外できる。 材料の精錬時などに揮散する可能性が高いと判断できる元素は、起源元素から除外できる。ただし、対象物の範囲及び評価によっては、完全に除去されず、放射化計算に考慮した方がよい元素もある。 評価対象核種の総生成放射能に対する寄与が小さい元素は、起源元素から除外できる。 </div>	<p>選定方法: 附属書Fの例(放射化計算と放射化学分析結果の比較)では、CBに関して、Co-60に関する計算と分析との比較検討を行うため、Co-60の起源元素Coのみとしています。</p> <p>なお、最大放射能濃度の評価に適用する場合は、CBの評価対象核種例としました「¹⁴C, ³⁶Cl, ⁶⁰Co, ⁶³Ni, ⁹⁰Sr, ⁹⁴Nb, ⁹⁹Tc, ¹²⁹I, ¹³⁷Cs, 全α」からの選定は、区間推定法と同じです。</p>	<p>選定方法: 附属書GではCBを評価対象物としており、G.1.1に示しております起源元素の選定の例示のように103元素からG.1.1.3に示しています4段階のスクリーニング¹⁾(添付1参照)を実施して、仮に、現行L2埋設などの申請核種(¹⁴C, ³⁶Cl, ⁶⁰Co, ⁶³Ni, ⁹⁰Sr, ⁹⁴Nb, ⁹⁹Tc, ¹²⁹I, ¹³⁷Cs, 全α)を踏まえて設定した例を示しています。</p> <p>注1 <u>スクリーニングの理由と内容</u> 必要な放射計算に絞り込むために実施</p> <p>一次: U, Th以外の放射性同位体を除いた元素に絞る。</p> <p>(除外元素: Tc, Pm, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac, Pa, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr: 21元素)</p> <p>二次: 評価対象核種を生成する元素に絞る。 (表G.3参照)</p> <p>(除外元素: H, He, Li, Be, B, Mg, Al, Si, P, Ca, Sc, Ti, Ga, Ge, As, Se, Br, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb: 47元素)</p> <p>三次: 附属書Hの図H.19に示す製造工程(熱処理: 溶解等、化学処理: 還元等)を踏まえ鋼材中に残存する元素に絞る。 (表G.5参照、詳細な理由及び根拠は第3回の回答4参照)</p> <p>(除外元素: F, Ne, Ar, Kr, Rb, Sr, Y, Ru, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La: 15元素)</p> <p>四次: 放射能生成比0.01%以上の元素に絞る。 (表G.6, 7参照)</p> <p>(除外元素: C, Na, V, Cr, Mn, Zn: 6元素)</p> <p>起源元素の選定結果: 評価対象核種を生成する「N, O, S, Cl, K, Fe, Co, Ni, Cu, Zr, Nb, Mo, Th, U (14元素)」を起源元素として選定しています。</p>	<p>附属書Kでは、黒鉛ブロックを評価対象物としておりますので、左記と同じ方法によって、同じ評価対象核種である「¹⁴C, ³⁶Cl, ⁶⁰Co, ⁶³Ni, ⁹⁰Sr, ⁹⁴Nb, ⁹⁹Tc, ¹²⁹I, ¹³⁷Cs, 全α」を生成する「C, N, O, S, Cl, K, Fe, Co, Ni, Cu, Y, Zr, Nb, Mo, Th, U (16元素)」を起源元素として選定しています。</p>	
6.1.2.2.2 起源元素の元素成分データの収集方法	<ul style="list-style-type: none"> 3つの方法のうちどの方法で収集したか その方法を選んだ理由 	<p>収集方法: 附属書Fの例では、分析による方法</p> <p>選択理由: Co-60に関する計算と分析との比較検証用ですので、分析による収集です。</p>	<p>収集方法: 元素データの収集段階においては、3種類の収集方法(分析、文献・材料証明書、JIS規格)を全て適用しており、その適用方法は、附属書Iの表I.3に示しています。</p>		

	<p>評価対象とする放射化金属等の種類、材料を考慮した上で、次のいずれかの方法で起源元素の元素成分データを収集する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 放射化金属等の試料（品質管理用保存試料など）又は同じ材料の種類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、又は同種の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。 	<p>なお、最大放射能濃度の評価に適用する場合は、区間推定法と同じです。</p>	<p><u>選択理由</u>: 元素データの収集段階においては、その使用の有無にかかわらず、幅広く元素分析データを収集するために、全ての手法を適用するものです。</p> <p>なお、この収集した分析データの中から入力用の元素データを設定するために、次のステップでデータを選択します。</p> <ol style="list-style-type: none"> 分析データが得られている場合: 分析データを選択する。 分析データが得られなかった場合: 文献データを選択する。 主成分元素の場合: 分析データに替えて、規格値(保守的な評価とするため)を適用してもよいと考えます。 <p>なお、上記を踏まえ、CBの例として入力用の元素分布の設定データとして選択した結果を表I.9に示しています。</p>		
6.1.2.2.3 起源元素の成分条件の設定方法	<ul style="list-style-type: none"> 3つの方法のうちどの方法で設定したか その方法を選んだ理由 <p>起源元素の元素成分条件は、次のいずれかの方法で設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 代表値を設定する方法 収集した起源元素の元素成分データによって、濃度の代表値を設定する。 濃度分布から設定する方法 収集した起源元素の元素成分データの濃度分布を踏まえ、複数の代表的濃度(例 平均濃度、信頼上限値など)を設定する。 濃度範囲を設定する方法 収集した起源元素の元素成分データの濃度範囲を踏まえ、最大濃度、最小濃度を設定する。 <p>注記 検出が困難な元素に関する濃度分布の評価方法は、附属書Hを参照。</p>	<p><u>設定方法</u>: 附属書Fの例では、代表値を設定する方法</p> <p><u>選択理由</u>: Co-60に関する計算と分析との比較検証用ですので、評価対象としたCBの採取試料の代表値となる分析結果で設定します。</p> <p>なお、最大放射能濃度の評価に適用する場合は、区間推定法と同じです。その設定した濃度分布から、保守的となる最大値、又は信頼上限値を適用します。</p>	<p><u>設定方法</u>: 適用しました分析データは、表I.9に示します元素データを使用して、「濃度分布から設定する方法」を適用しています。</p> <p>なお、主成分であるFe及びZrは、CBの例では「濃度範囲を設定する方法」を適用しています。</p> <p><u>選択理由</u>: 評価対象物の元素濃度範囲を網羅した評価をランダムサンプリングで行うために、上記で選択した分析データ(平均値及び標準偏差)を踏まえて入力用濃度分布を設定します。このため、基本は「濃度分布から設定する方法」ですが、保守的に設定できる「濃度範囲を設定する方法」(JIS規格の元素成分の許容範囲で設定)として、主成分元素には、「一様分布」を適用してもよいと考えます。</p>		
6.1.2.3 中性子条件	—	—	—		
a) 中性子フルエンス率・中性子スペクトル	<ul style="list-style-type: none"> 使用した中性子輸送コードの種類 そのコードを選んだ理由 中性子フルエンス率、中性子スペクトルの設定に至るまでの考え方、設定の判断方法、根拠 	<p><u>中性子輸送コード</u>: MCNP</p> <p><u>選定理由</u>: 添付2及び採取した試料位置の中性子条件を正確に評価するために、燃料集合体内を詳細にモデル化した中性子フルエンス率・中性子スペクトル計算できるMCNPを適用した。</p> <p><u>設定方法</u>: 附属書FのF.1.3 b)の燃料棒の出力及びボイド率を用い、燃料集合体内を詳細にモデル化した中性子フルエンス率分布計算を、MCNPによってサイクルごとの代表点(サイクル中期)で実施し</p>	<p><u>中性子輸送コード</u>: 単位燃料集合体核特性計算コード</p> <p><u>選定理由</u>: 添付3及び軸方向出力分布、ボイド率分布を考慮して軸方向の中性子条件を設定するために、単位燃料集合体核特性計算コードによる中性子フルエンス率・中性子スペクトル算出結果を使用した。</p> <p><u>設定方法</u>: 附属書GのG.2.2に示します。</p> <ol style="list-style-type: none"> 中性子フルエンス率・中性子スペクトルの炉内分布の評価計算 		

		<p>た。これから対象チャンネルボックスの試料採取位置における中性子フルエンス率・中性子スペクトルを設定します。</p> <p>なお、最大放射能濃度の評価に適用する場合は、上記方法と同じですが、最大となる評価位置を選択します。</p>	<p>1)代表燃料断面について、燃焼度及び出力密度の条件を、それぞれサイクル中期の炉心平均燃焼度、及び定格出力密度として、チャンネルボックス設置位置の中性子フルエンス率・中性子スペクトルを算出します。</p> <p>2)代表炉心の3次元核熱水力解析によって、炉内径方向位置に応じた軸方向出力分布、ボイド率分布を算出します。</p> <p>3)2)で求めた軸方向出力分布、ボイド率分布を利用し、1)の値をボイド率で内挿、出力密度補正を行い、炉心中央部及び最外周部におけるチャンネルボックス位置の中性子フルエンス率・中性子スペクトルを計算して設定します。また、附属書IのI.2.2.2.1a)に示すように、中性子スペクトルが大きく変化する制御棒挿入位置、炉心外についても中性子フルエンス率・中性子スペクトルを計算して設定します。</p> <p>②中性子フルエンス率・中性子スペクトルの選定</p> <p>1)6.1.2.4 照射条件の手順によって選択した「照射時間」を踏まえ、CBの炉内のローテーションパターン(表)をランダムサンプリングによって選択し、軸方向、径方向の評価位置をランダムサンプリングによって決定します。(必要回数実施)</p> <p>2)①の炉内分布の評価計算で評価した中性子フルエンス率・中性子スペクトルの分布より、1)で選択した評価位置のローテーションごとの中性子フルエンス率・中性子スペクトルを選択・決定します。(必要回数実施)</p>		
b) 放射化断面積	<ul style="list-style-type: none"> 2つの方法のうちいずれの方法で放射化断面積を作成したのか その方法を選んだ理由 	<p><u>設定方法</u>：放射化計算コードの内蔵ライブラリを使用。</p> <p>なお、ORIGEN-Sのスペクトルインデックスを用いて内蔵ライブラリを補正します。</p> <p><u>選択理由</u>：中性子フルエンス率・中性子スペクトルの違いを放射化計算に反映するために、ORIGEN-Sを使用するので内蔵ライブラリを使用した。</p>	<p><u>設定方法</u>：放射化計算コードの内蔵ライブラリを使用。</p> <p>なお、ORIGEN-Sのスペクトルインデックスを用いて内蔵ライブラリを補正します。</p> <p><u>選択理由</u>：中性子フルエンス率・中性子スペクトルの違いを放射化計算に反映するために、ORIGEN-Sを使用するので内蔵ライブラリを使用した。</p>		
6.1.2.4 照射条件	<p>a)とb)のいずれを選定したか</p> <ul style="list-style-type: none"> その方法を選んだ理由 各方法において、照射条件を設定する場合の適切性を判断する理由(判断方 	<p><u>設定方法</u>：Co-60に関する計算と分析との比較検証用ですので、詳細に「個別に照射履歴」を設定します。(図E3参照)</p>	<p><u>設定方法</u>：「代表照射履歴(照射時間)」を設定し、その収集して設定した照射時間の入力用分布からランダムサンプリングします。</p> <p><u>設定理由</u>：評価対象とするCB全体の照射条件を網羅した設定とするために、その照射時間の</p>		

	<p>法)は、同様に保守性を判断できる理由</p> <p>a) 個別に照射履歴を設定する方法 放射化金属等ごとに、中性子の照射履歴に基づき、適切又は保守的に代表する照射条件を設定する。</p> <p>b) 代表照射履歴を設定する方法 中性子の照射履歴に基づき、放射化金属等のグループを適切又は保守的に代表する照射条件を設定する。</p> <p>なお、換算係数法、濃度比法及び濃度分布評価法によって決定する場合は、複数の放射化金属等を適切に代表する照射条件の範囲又は分布を設定してもよい。</p>	<p><u>設定理由</u>：評価対象とした CB 自体の中性子照射日数及び中性子照射停止日数を運転サイクルごとに与えるため。</p> <p><u>妥当性</u>：個別に、評価対象とした CB の詳細な照射記録で設定します。</p> <p>なお、最大放射能濃度の評価に適用する場合は、区間推定法と同じですが、保守的に最大値などを評価条件として選択します。</p>	<p>分布(平均及び標準偏差)を設定した上で、ランダムサンプリングによって計算用の入力条件を設定したため。</p> <p><u>妥当性</u>：約 13,000 体の CB の照射時間の実態調査結果を踏まえて、代表照射分布(平均 1 786 日、標準偏差=654 日)を設定しています。(表 L.14 参照)</p> <p><u>放射化計算の入力用の設定方法</u>：上記の CB の照射時間の実態調査結果から設定した代表照射分布から、ランダムサンプリングすることによって、照射時間を必要回数設定します。</p>		
6.1.3 放射化計算	—	—	—		
6.1.3.1 放射化計算方法	<ul style="list-style-type: none"> なぜ、その放射化計算方法を選んだのか 	<p><u>選択方法</u>：ORIGEN-S</p> <p><u>選択理由</u>：添付 4 及び中性子フルエンス率・中性子スペクトルの違いを放射化計算に反映するために、スペクトルインデックスを設定することによって放射化計算に反映可能な ORIGEN-S を使用した。</p>	<p><u>選択方法</u>：ORIGEN-S</p> <p><u>選択理由</u>：添付 4 及び中性子フルエンス率・中性子スペクトルの違いを放射化計算に反映するために、スペクトルインデックスを設定することによって放射化計算に反映可能な ORIGEN-S を使用した。</p>		
6.1.3.2 計算用入力条件の設定	<p>放射化計算の入力パラメータ及び条件</p> <ul style="list-style-type: none"> 区間推定法の場合、入力パラメータ及び条件をランダムに抽出するか又は適切な代表条件を設定するかどちらか その方法を選んだ理由 	<p><u>設定方法</u>：代表条件(ここでは、評価対象 CB の評価対象位置の条件)で設定する方法</p> <p><u>選択理由</u>：Co-60 に関する計算と分析との比較検証用に、特定の評価対象物及び評価位置を設定するため。</p> <p>なお、最大放射能濃度の評価に適用する場合は、代表条件は保守的条件となります。</p>	<p><u>設定方法</u>：入力パラメータ及び条件をランダムに抽出する方法</p> <p><u>選択理由</u>：評価対象物の条件範囲を網羅した無作為な評価を行うために、入力条件を設定した分布などからランダムサンプリングで行う必要があるため。</p> <p><u>放射化計算の実施(濃度比の評価)</u>：設定した計算用入力条件を使用して行った放射化計算の結果(Key 核種と評価対象核種の放射能濃度)を使用して、適用する評価対象核種に対する濃度比(最大放射能濃度を評価する場合は算術平均値を適用)を決定します。</p>		
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	<ul style="list-style-type: none"> 必要計算数 その数で妥当とした理由 	<p><u>計算数</u>：1 点</p> <p><u>その数で十分と判断した理由</u>：点推定法は、Co-60 に関する計算と分析との比較検証用の場合は、特定の CB の特定の評価部位(試料採取位置)での保守性を含まない計算、又は最大放射能濃度の場合は、CB の最大濃度の位置での保守性(元素濃度、照射時間に最大値、又は信頼上限値を適用する)を含む計算で評価するため。</p>	—		

6.1.3.3.2 区間推定法	<ul style="list-style-type: none"> 実施した計算数 その数で十分と判断した理由 	—	<p>計算数：附属書Iに示します計算例では40点</p> <p>その数で十分と判断した理由：核種間の相関関係に依存するため、核種ごとに必要計算回数は異なりますが、例示したNb-94の場合はCo-60との相関係数0.83であり、計算数としては、30点で充分と考えますが、他の核種も含めた統一した評価例を示すため40点としています。 (計算数の充足性に関しては、第3回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答の回答13(4)を参照ください。)</p>		
6.1.4 表面汚染の取扱い	<ul style="list-style-type: none"> 表面汚染を除染したか 除染した場合、除染が十分と判断した根拠 除染しない場合、表面に付着した放射性物質の放射能濃度の評価結果 理論計算法で決定した放射能濃度に加えなかった場合、その理由 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>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。</p> </div>	同右	<p>標準では理論的方法の説明のため、汚染分に関する具体例までを示しておりませんが、下記のように考えます。</p> <p>表面汚染分の考慮： 表面汚染分の放射能濃度を評価して、放射化分の放射能濃度に加えることが基本です。</p> <p>表面汚染分の考慮が不要な場合の例： 除染などによって、表面汚染分の放射能濃度への影響が低いと考えられる場合は、表面汚染分を考慮する必要はないと考えます。 ・埋設における汚染分の線量評価への影響に比べ小さいと考えられる濃度以下（現段階では明確でない）の場合</p>		
6.3.1 理論的方法の妥当性確認	—	—	—		
6.3.1.1 妥当性確認の方法	<ul style="list-style-type: none"> 放射化計算方法及び計算手順が期待される結果を与えたか そのように判断した根拠 計算が、恒常的に、正確に実施できるか そのように判断した根拠 	<p>結果：分析—計算の比較及び保守性の評価によって、適用する方法・手順によって、廃棄体の放射能濃度を精度よく決定することが出来ることを確認します。 (6.4の説明参照) 恒常的に、正確に実施：妥当性が確認された計算コードを使用し、計算手順書を定め、入力条件書を作成した上で手順に沿って実施し、計算の記録を残すことで、再現性が得られる評価結果となっています。 判断した根拠：第三者によって上記の方法（検証結果含む）、手順及び入力データが確認でき、かつ、再評価もできるようになっているため。</p>	同左 (左記の分析—計算結果の比較検証及び計算コード及び入力条件の明確化を確認する)		
6.3.1.2 不確かさの扱い	<ul style="list-style-type: none"> 不確かさの評価方法と結果 	—	不確かさの評価方法：計算結果である濃度比（平均値）に関しては信頼限界を評価し、組合せるKey核種濃度（非破壊測定の場合）に関しては、		

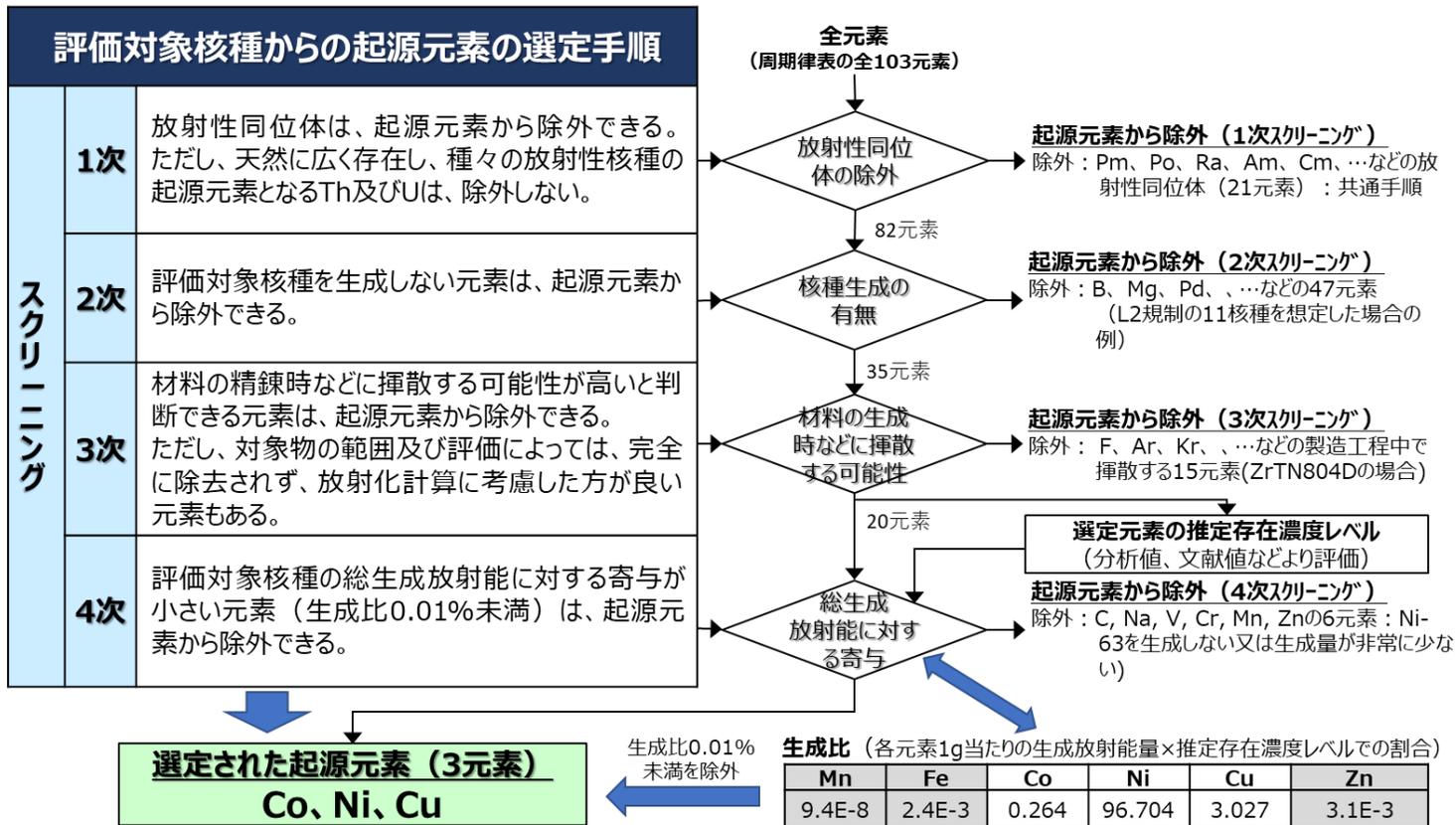
			<p>変動係数を評価し、双方を乗ることで、評価した放射能濃度の不確かさの範囲を評価します。</p> <p>結果の不確かさの試算：Nb-94 の場合で約 1.7 倍のばらつきを含みます (添付 5 参照)</p>																	
<p>6.4 放射能濃度の評価における裕度</p>	<ul style="list-style-type: none"> 最大放射能濃度との比較に用いる推定放射能濃度の算出方法と結果 提示する評価精度値とその根拠 	<p>—</p> <p>(附属書 F は、Co-60 に関する計算と分析との比較検証用に実施しているため、保守性を加味した最大放射能濃度の評価ではありませんので、下記の評価精度です。)</p> <table border="1" data-bbox="914 617 1344 779"> <thead> <tr> <th>放射性核種</th> <th>核種分析値^{a)} (Bq/t)</th> <th>放射化計算結果 (Bq/t)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>⁶⁰Co</td> <td>3.3×10¹²</td> <td>3.4×10¹²</td> </tr> </tbody> </table> <p>注^{a)} 核種分析値の計数値の統計変動 (計数誤差) は、"±0.2%"であった。</p> <p>なお、最大放射能濃度の評価に適用する場合は、計算条件に保守的条件 (入力条件に最大値、又は信頼上限値の適用) を設定することで裕度を確保できます。</p>	放射性核種	核種分析値 ^{a)} (Bq/t)	放射化計算結果 (Bq/t)	⁶⁰ Co	3.3×10 ¹²	3.4×10 ¹²	<p>最大放射能濃度の評価に適用する濃度比：「算術平均濃度比」を適用します。</p> <p>これに加え、放射化計算の結果のばらつき (附属書 I の表 1.21 の計算結果では、最も小さい Cl-36 の場合で最大濃度比/算術平均濃度比=2.4、最も大きい Sr-90 の場合で最大濃度比/算術平均濃度比=5.9) は、10 倍以内に収まっており、濃度比法を適用できる範囲を制限するスクリーニングレベル (例えば 1/10) を設定することによって、最大放射能濃度を超えないことの確認が可能です。</p> <p>推定放射能濃度の算出方法と結果：「算術平均濃度比」に Key 核種 (Co-60) の放射能濃度 (非破壊外部測定によって評価した結果、または理論計算によって評価した結果) を乗じることで、評価対象核種の放射能濃度を決定します。</p> <table border="1" data-bbox="1383 989 1863 1150"> <caption>濃度比法による放射能濃度の計算結果</caption> <thead> <tr> <th colspan="2">評価対象物：CB</th> <th>Nb-94 濃度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>濃度比法</td> <td>算術平均</td> <td>7.0 E+9 Bq/t</td> </tr> <tr> <td colspan="2">中央部のサブリング分析結果</td> <td>4.4 E+7 Bq/t</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記：燃焼度 (45 GWd/t) での 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 濃度比を乗じて評価した。</p> <p>結果の不確かさの試算：Nb-94 の場合、約 1.7 倍のばらつきを含む (添付 5 参照)</p> <p>また、下図 (Nb-94 と Co-60 の放射能濃度の計算結果の散布図) のように理論計算による計算結果と CB の代表試料の分析結果の比較によって保守性も把握しています。</p> 	評価対象物：CB		Nb-94 濃度	濃度比法	算術平均	7.0 E+9 Bq/t	中央部のサブリング分析結果		4.4 E+7 Bq/t		
放射性核種	核種分析値 ^{a)} (Bq/t)	放射化計算結果 (Bq/t)																		
⁶⁰ Co	3.3×10 ¹²	3.4×10 ¹²																		
評価対象物：CB		Nb-94 濃度																		
濃度比法	算術平均	7.0 E+9 Bq/t																		
中央部のサブリング分析結果		4.4 E+7 Bq/t																		

			注記 CB 中央部の分析結果を●で示す、比較は計算結果(○)の最大領域の結果(赤破線の○で囲った部分)との比較となる。		
--	--	--	---	--	--

添付1

評価対象核種からの起源元素の選定方法の例 (材質ZrTN804D、評価対象核種Ni-63の場合の選定例)

本標準で示す評価対象核種の放射化計算の際に必要な「起源元素」の選定手順の具体例を、ZrTN804Dの評価対象核種Ni-63を例にした場合の選定手順とその過程における起源元素の選定結果例を以下に示す。



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

1. 概要

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

2. 機能

MCNPコードは、遮蔽解析に際して以下の機能を有する。

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

3. 解析フロー

MCNPコードの解析フローを図に示す。

4. 使用実績

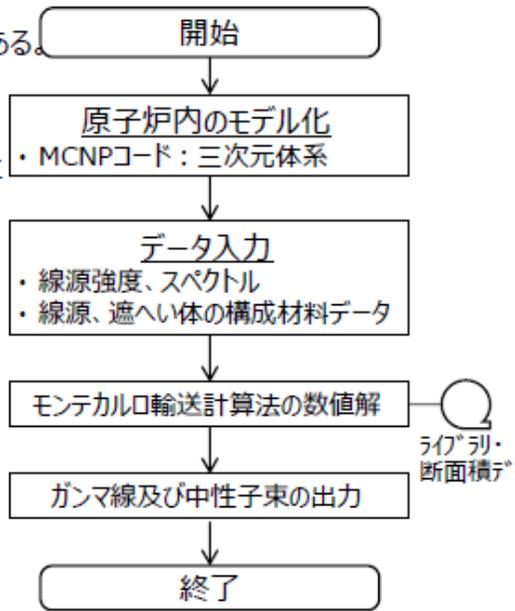
国内では、「原子力発電所放射線遮へい設計規程」¹⁾において、原子力施設の遮蔽のための輸送計算コードとしてモンテカルロ法を用いた計算手法の適用が可能とされており、MCNPコードは放射性物質輸送・貯蔵容器の遮蔽解析などで用いられている。米国では使用済燃料貯蔵施設の審査指針である「Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Facilities」(NUREG-1567)においては遮蔽解析ツールとしてMCNPコードが記載されており、遮蔽設計、線量評価等で使用されている。

5. 検証

汎用コードの導入評価²⁾が実施されていることを確認。

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

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



MCNPコードの解析フロー図

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

1. 概要

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

2. 機能

単位燃料集合体核特性コードは、遮蔽解析に際して以下の機能を有する。

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

3. 解析フロー

単位燃料集合体核特性コードの解析フローを図に示す。

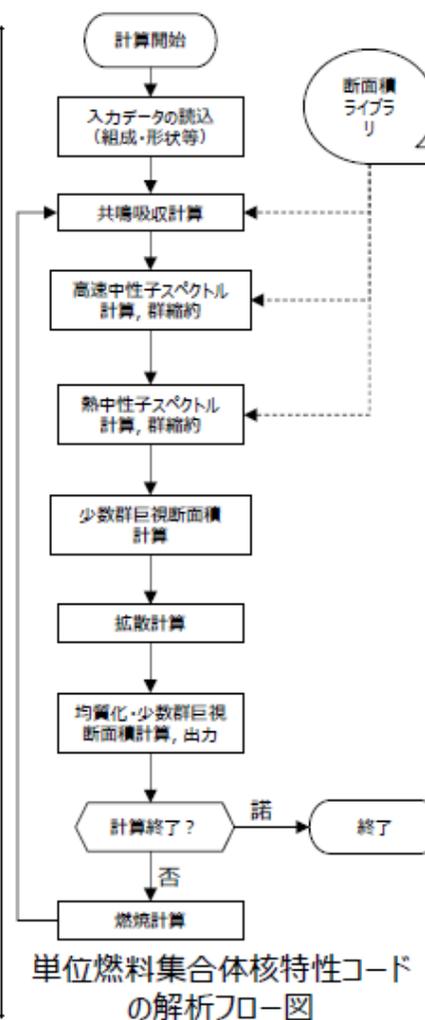
4. 使用実績

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

5. 検証

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

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



添付4 第2回検討チーム会合 資料2-1-3 P13

放射化計算コード (例 ORIGEN-S) の妥当性

1. 概要

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

一連のORIGENコードを使用して計算できる内容は、次のとおりである。

- 1) 燃焼計算 燃料の核種組成 (重量), 照射期間 (運転パターン), 炉内中性子束あるいは炉の比出力を入力することによって, 各核種の放射エネルギー, 中性子やガンマ線発生数, 核分裂生成物やアクチノイド核種の生成量を計算する。
- 2) 放射化計算 評価対象である構造材の材料組成, 中性子束, 照射履歴を入力することによって, 構造材の放射化放射エネルギーを計算する。
- 3) 崩壊計算 評価対象である材料組成, 中性子束, 照射履歴を入力することによって, 生成, 消滅計算から得られる放射性核種の発熱量を計算する。

2. 使用実績

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

3. 検証方法

汎用コードの導入評価¹⁾が実施されていることが確認されている。

大型実験/ベンチマーク試験による検証²⁾が実施されていることが確認されている。

1) SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, ORNL/TM-2005/39, Version 5.1, Vols.I-III, November (2006)

2) K.Tanaka et al., "Radioactivity evaluation for Main Steam Line and Suppression Chamber of small type BWR", Progress in Nuclear Science and Technology Volume 4 (2014) pp.836-839

添付5 区間推定法（濃度比法）における不確かさの評価

評価方法	評価方法内におけるばらつきの程度	放射化計算結果以降の評価で生じるばらつきの評価
濃度比法 (附属書Iの表I.21の結果を使用し新たに計算した結果)	<ul style="list-style-type: none"> • 同一グループ内でのばらつきを考慮した入力条件での濃度比の計算結果のばらつき： Nb-94での試算例： 幾何平均に対する99%信頼上限：1.37倍 • 非破壊測定結果（Co-60）のばらつき： 測定精度：±20% [1] (L1廃棄体に収納している廃棄物は体積線源と想定でき、より均一廃棄体に近いと仮定されるが、保守性を加え充填固化体の測定評価結果を適用した) 	平均に対して、濃度比の評価値と非破壊測定値のばらつきを加味すると、評価値は約1.7倍となる可能性がある。

参考資料

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

第3回会合における日本原子力学会への説明依頼事項に対する回答の回答 13(4)

標準に記載されている内容ではありませんが、必要データ数の考え方としましては、次の考え方が適用できると考えます。

必要データ数の考え方の例として、IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.18 に示される評価に必要なデータの充足数に関する引用文献[1]では、図 13(4)-4 の評価結果（相関係数 0.8 の場合の 100 点のデータまでの統計値の推移を評価した例）などを踏まえ、相関係数に応じて、表 13(4)-2 のように計算数が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）として示されており、このデータ数の充足性を満たす数量の考え方が、同じ相関係数を利用して評価する理論的方法にも適用可能と考えます。

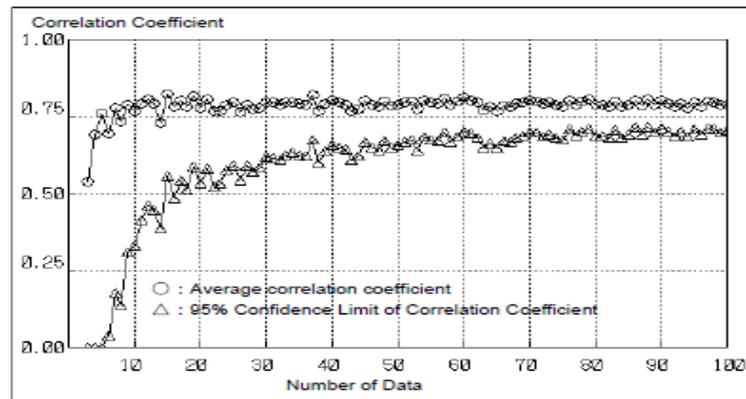


図 13(4)-4 *The changes in correlation coefficient with the number of samples* (相関係数 0.8 の例[1])

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.

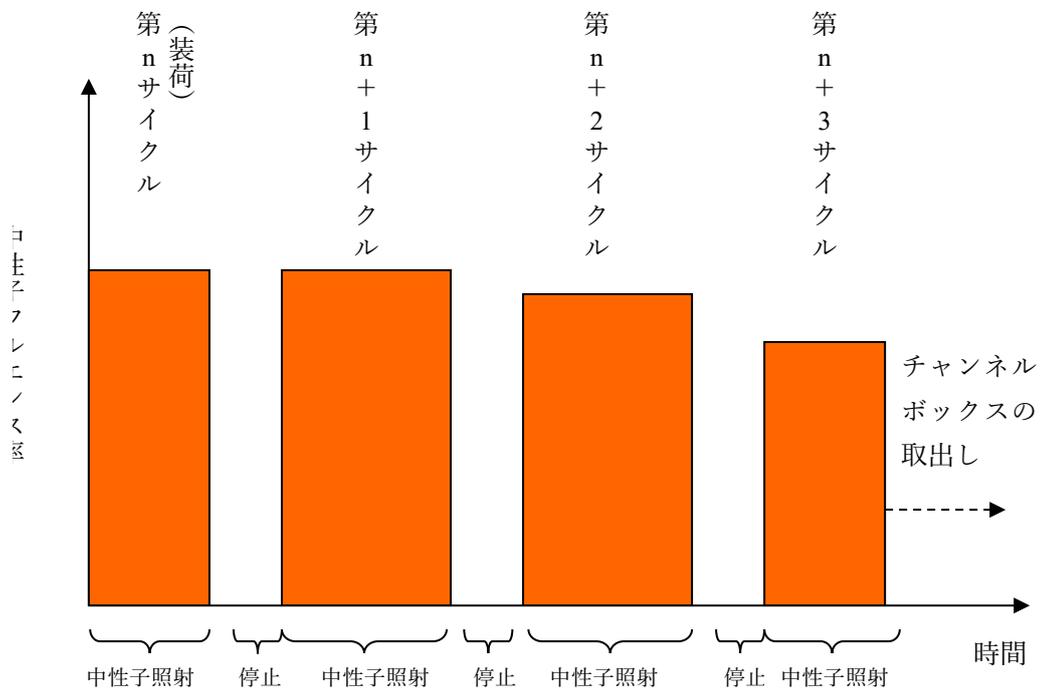


図 F.3—チャンネルボックスの中性子の照射履歴（概念図）

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）

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

注1 上記は、一次スクリーニング実施後の元素（安定同位体核種が存在する元素）に対して放射化計算を実施した結果である。
 注2 放射化計算条件は、計算コード：ORIGEN2.2、断面積ライブラリ：PWR41J33、照射時間：30y、中性子フルエンス率：4.72×10¹⁴cm⁻²/s、元素量：各元素とも等量（0.001kg）
 注3 ORIGEN上の閾値（CutOff）は、3.7Bq (=1.0×10⁻¹⁰ Ci)とした（ただし、照射時間60yでの生成量で核種生成の有無を判断）。
 注¹ 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2000°C近くとなることを考慮すると、飢渴する可能性が高い(括弧内は沸点)。	岩石・鉱物に微量含まれるが、希ガスが不純物として金属に混入する可能性は、低い。	希少性が高く、不純物として金属に混入する可能性は、低い。	高炉における還元性雰囲気によって、精錬過程で除去。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°C)	—	—	—	○ (レビジウム原子時計)
Sr	○	○ (1639°C)	—	—	—	—
Y	○	—	—	—	—	—
Ru	—	—	—	○	—	○ (水素化触媒)
Sb	○	○ (1640°C)	—	—	—	—
Te	○	○ (1390°C)	—	—	—	—
I	—	—	—	—	—	○ (抗菌処理)
Xe	—	—	○	—	—	—
Cs	○	○ (760°C)	—	—	—	—
Ba	○	○ (1537°C)	—	—	—	—
La	○	—	—	—	—	—

注記 “○”は、金属に対する三次スクリーニングが可能と考えられる対象元素を示す。
注^{a)} ZrTN804D の元素のうち、○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。

表 G.6—起源元素の推定存在濃度レベル例（オーダー）

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

注記1 上記は、分析データ及び文献データの平均値から、各元素の推定存在濃度（オーダー）を評価した結果である。
注記2 データ数は、検出値のデータ数と、その横に括弧書きで検出限界以下のデータ数も合わせて記載した。
注記3 平均値は、検出データの平均値を記載した。ただし、検出限界データしか存在しない元素は、括弧書きで検出限界データの平均値を記載した（ZrTN804DのUは検出データ+検出限界データの平均値を括弧書きで記載した）。
注記4 存在濃度レベルの推定が困難な元素（ZrTN804DのNa, Zn）は、地殻存在割合^[29]を利用して推定存在濃度レベルを評価した。
注^{a)} 分析データ：放射化計算条件を設定するために事業者が評価対象廃棄物（材料）中の元素分析を実施した結果^[2]
注^{b)} 文献データ：一般公開文献情報^{[5]~[28]}

表 I.3-各元素の元素分析データ収集結果 (ZrTN804D)

元素	元素分析データ ^{注1}							文獻データ ^{注2}							成分管理目標値 (JIS H 4751 ^{注3}) (質量分率%)
	データ数	対数正規分布		正規分布(実数)		一部分布		データ数	対数正規分布		正規分布(実数)		一部分布		
		平均値 (質量分率%)	標準偏差 (質量分率%)	平均値 (質量分率%)	標準偏差 (質量分率%)	最小値 (質量分率%)	最大値 (質量分率%)		平均値 (質量分率%)	標準偏差 (質量分率%)	平均値 (質量分率%)	標準偏差 (質量分率%)	最小値 (質量分率%)	最大値 (質量分率%)	
N	21 (0)	3.1 × 10 ⁻³ (-2.5)	3.7 × 10 ⁻⁴ (0.08)	3.2 × 10 ⁻³	5.2 × 10 ⁻⁴	2.2 × 10 ⁻³	4.1 × 10 ⁻³	10 (1)	2.8 × 10 ⁻³ (-2.6)	4.5 × 10 ⁻⁴ (0.22)	3.2 × 10 ⁻³	2.0 × 10 ⁻³	1.4 × 10 ⁻³	8.0 × 10 ⁻⁴	≦ 0.008 (不純物)
O	5 (0)	1.3 × 10 ⁻¹ (-0.9)	1.4 × 10 ⁻¹ (0.01)	1.3 × 10 ⁻¹	3.7 × 10 ⁻²	1.3 × 10 ⁻¹	1.4 × 10 ⁻¹	5 (0)	1.1 × 10 ⁻¹ (-0.9)	1.3 × 10 ⁻¹ (0.05)	1.1 × 10 ⁻¹	1.3 × 10 ⁻¹	9.5 × 10 ⁻²	1.3 × 10 ⁻¹	-
S	0 (0)	-	-	-	-	-	-	1 (0)	3.5 × 10 ⁻³ (-2.5)	-	3.5 × 10 ⁻³	-	-	-	-
Cl	0 (21)	5.0 × 10 ⁻⁴ (-3.3)	-	5.0 × 10 ⁻⁴	-	5.0 × 10 ⁻⁴	5.0 × 10 ⁻⁴	0 (0)	-	-	-	-	-	-	-
K	0 (4)	1.0 × 10 ⁻⁴ (-4.0)	-	1.0 × 10 ⁻⁴	-	1.0 × 10 ⁻⁴	1.0 × 10 ⁻⁴	0 (0)	-	-	-	-	-	-	-
Fe	5 (0)	2.1 × 10 ⁻² (-0.7)	2.2 × 10 ⁻² (0.01)	2.1 × 10 ⁻²	5.5 × 10 ⁻³	2.1 × 10 ⁻²	2.2 × 10 ⁻²	18 (0)	2.1 × 10 ⁻² (-0.7)	2.2 × 10 ⁻² (0.03)	2.1 × 10 ⁻²	1.3 × 10 ⁻²	1.8 × 10 ⁻²	2.4 × 10 ⁻²	0.18 ~ 0.24
Co	0 (21)	3.3 × 10 ⁻⁴ (-3.5)	-	7.6 × 10 ⁻⁴	-	1.0 × 10 ⁻⁴	1.0 × 10 ⁻⁴	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 ⁻⁴	≦ 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 ⁻³	3.5 × 10 ⁻³	4.8 × 10 ⁻³	3 (1)	3.2 × 10 ⁻³ (-2.5)	5.1 × 10 ⁻³ (0.20)	3.5 × 10 ⁻³	1.5 × 10 ⁻³	2.0 × 10 ⁻³	5.0 × 10 ⁻³	≦ 0.007 (不純物)
Cu	0 (0)	-	-	-	-	-	-	3 (0)	1.6 × 10 ⁻³ (-2.8)	2.4 × 10 ⁻³ (0.17)	1.7 × 10 ⁻³	5.8 × 10 ⁻⁴	1.0 × 10 ⁻³	2.0 × 10 ⁻³	≦ 0.005 (不純物)
Zr	16 (0)	9.8 × 10 ¹ (2.0)	-	9.8 × 10 ¹	-	9.8 × 10 ¹	9.8 × 10 ¹	1 (0)	9.8 × 10 ¹ (2.0)	-	9.8 × 10 ¹	-	-	-	規格
Nb	0 (21)	2.9 × 10 ⁻³ (-2.5)	-	3.9 × 10 ⁻³	-	5.0 × 10 ⁻³	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 ⁻⁴	1.0 × 10 ⁻⁴	1 (1)	2.0 × 10 ⁻⁴ (-2.7)	-	2.0 × 10 ⁻⁴	-	-	-	≦ 0.005 (不純物)
Th	0 (16)	1.0 × 10 ⁻³ (-5.0)	-	1.0 × 10 ⁻³	-	1.0 × 10 ⁻³	1.0 × 10 ⁻³	0 (0)	-	-	-	-	-	-	-
U	1 (20)	2.0 × 10 ⁻⁴ (-3.7)	-	8.1 × 10 ⁻⁵	-	-	-	2 (0)	3.2 × 10 ⁻⁴ (-4.5)	-	3.5 × 10 ⁻⁴	-	2.0 × 10 ⁻⁴	5.0 × 10 ⁻⁴	≦ 3.5E-04 (不純物)

注1 上記は、元素分析データ及び文獻データの平均値、標準偏差などを併列した結果である。また、集計結果のうち、対数正規分布の標準偏差は、平均値+1σで表示し、下限(括弧内)に対数値を合わせて表記した。
 注2 データ数は、検出値のデータ数と、その欄に括弧書きで検出下限値データ数も合わせて記載した。
 注3 平均値、標準偏差などの集計結果のうち、括弧書きは、検出下限値データで集計した結果を意味する(ただし、括弧書きがない場合は、検出値データだけで集計した結果である)。
 注4 データ数が未測の元素は、標準偏差の欄を“-”とした。また、データ数が1点の元素は、一部分布の欄を“-”とした。
 注5 元素分析データ：放射化学分析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^{注6}
 注6 文獻データ：一般公開文獻情報^{注7}(JIS H 4751-10)

表 I.9-ZrTN804D の各元素の濃度分布条件設定結果

元素	濃度分布の設定		濃度分布条件の設定結果									
	成分 管理条件	濃度分布基本形状		収集データ			対数正規分布		正規分布		一部分布	
		選択	設定	分析	文獻	データ数	平均値 (質量分率%)	標準偏差 (平均+1σ) (質量分率%)	平均値 (質量分率%)	標準偏差	最小値 (質量分率%)	最大値 (質量分率%)
N	不純物成分	対数正規分布	→	○	-	比較的少	3.2 × 10 ⁻³ (-2.5)	5.0 × 10 ⁻⁴ (0.2)	-	-	-	-
O	微量成分	対数正規分布	→	○	-	比較的少	1.6 × 10 ⁻¹ (-0.8)	2.0 × 10 ⁻¹ (0.1)	-	-	-	-
S	微量成分	対数正規分布	→	-	○	非常に少	4.0 × 10 ⁻³ (-2.4)	1.3 × 10 ⁻² (0.5)	-	-	-	-
Cl	微量成分	対数正規分布	→	○	-	ND値だけ	2.0 × 10 ⁻⁴ (-3.7)	3.2 × 10 ⁻⁴ (0.2)	-	-	-	-
K	微量成分	対数正規分布	→	○	-	ND値だけ	4.0 × 10 ⁻⁵ (-4.4)	6.3 × 10 ⁻⁵ (0.2)	-	-	-	-
Fe	主成分	一部分布	→	○	-	比較的少	-	-	-	-	0.18	0.24
Co	不純物成分	対数正規分布	→	○	-	ND値だけ	4.0 × 10 ⁻⁴ (-3.4)	6.3 × 10 ⁻⁴ (0.2)	-	-	-	-
Ni	不純物成分	対数正規分布	正規分布	○	-	比較的少	-	-	5 × 10 ⁻³	7 × 10 ⁻⁴	-	-
Cu	不純物成分	対数正規分布	正規分布	-	○	比較的少	-	-	2 × 10 ⁻³	6 × 10 ⁻⁴	-	-
Zr	主成分	一部分布	→	○	-	比較的少	-	-	-	-	98	100
Nb	不純物成分	対数正規分布	→	○	-	ND値だけ	2.0 × 10 ⁻³ (-2.7)	3.2 × 10 ⁻³ (0.2)	-	-	-	-
Mo	不純物成分	対数正規分布	→	○	-	ND値だけ	4.0 × 10 ⁻⁴ (-3.4)	6.3 × 10 ⁻⁴ (0.2)	-	-	-	-
Th	微量成分	対数正規分布	→	○	-	ND値だけ	4.0 × 10 ⁻⁴ (-5.4)	6.3 × 10 ⁻⁴ (0.2)	-	-	-	-
U	不純物成分	対数正規分布	→	○	-	非常に少	2.5 × 10 ⁻⁴ (-3.6)	7.9 × 10 ⁻⁴ (0.5)	-	-	-	-

注1 収集データの分析及び文獻は、“分析”放射化学分析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^{注2}。“文獻”一般公開文獻情報^{注3}(JIS H 4751-10)を意味する。
 注2 収集データのデータ数は、濃度分布条件設定の結果から、“比較的少”元素成分データ数が比較的少ない元素、“非常に少”元素成分データ数が非常に少ない元素、“ND値だけ”元素成分データに検出下限値(ND値)しかない元素”で区分した。
 注3 対数正規分布の標準偏差は、平均値+標準偏差(1σ)で表示した。また、対数正規分布の括弧書き(下限)には、平均値+標準偏差(1σの値)の対数表示値を示した。
 注4 平均値及び標準偏差は、有効数字3桁目(ただし、対数正規分布の場合は、対数値の有効数字3桁目)を切り上げて設定した。

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

運転サイクル数 ^{a)}		出現頻度分布	配置位置の設定条件 (ローテーションの種類 ^{d)})
サイクル数	中性子照射時間		
1	2年未満	固定 ^{b)}	A : 中央
2	2年以上, 3年未満	配置ローテーションの 種類の一様分布 ^{c)}	B : 中央→中央 C : 中央→近傍
3	3年以上, 4年未満	配置ローテーションの 種類の一様分布 ^{c)}	D : 中央→中央→中央 E : 中央→近傍→中央
4	4年以上, 5年未満	配置ローテーションの 種類の一様分布 ^{c)}	F : 中央→中央→中央→中央 G : 中央→中央→近傍→中央 H : 中央→中央→中央→最外 I : 中央→中央→最外→最外 J : 中央→近傍→最外→最外
5	5年以上	配置ローテーションの 種類の一様分布 ^{c)}	K : 中央→中央→中央→中央→最外 L : 中央→中央→中央→最外→最外 M : 中央→中央→近傍→最外→最外

注 ^{a)} 中性子照射時間に応じて運転サイクル数を設定。
^{b)} 中性子照射時間 2 年未満の場合は、配置位置のローテーションは、行わず、原子炉の中央部で継続的に照射される。
^{c)} 範囲を評価することが重要であり、代表的な配置位置のローテーションを種類ごとに同じように選択するとした。
^{d)} 原子炉内での運転サイクルごとの代表的な配置位置のローテーションの種類 (代表的な装荷位置の組合せ)。
 中央：原子炉内の中央部、最外：原子炉内の最外周部、近傍：制御棒近傍位置、を意味する。

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。

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

単位: Bec

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