

「中深度処分対象廃棄物の放射能濃度決定方法の基本手順」の技術評価希望に係る追加説明について

2021年2月18日

北	海	道	電	力	株	式	会	社
東	北	電	力	株	式	会	社	社
東	京	力	ホ	ー	ル	デ	ィ	ン
中	電	カ	ル	グ	ス	株	式	会
北	部	電	力	株	式	会	社	社
関	陸	電	力	株	式	会	社	社
中	西	電	力	株	式	会	社	社
四	国	電	力	株	式	会	社	社
九	国	電	力	株	式	会	社	社
日	州	電	力	株	式	会	社	社
電	本	子	力	発	電	株	式	会
日	源	開	発	株	式	会	社	社
	本	原	燃	株	式	会	社	社

- 「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」
(2021年1月22日)において、「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」の技術評価を希望することを説明させて頂いたが、以下の事項について十分な説明ができなかったため、あらためてご説明させて頂きたい。
 - ✓ 技術評価をして頂くことが必要と考えている点 (論点)
 - ✓ 早期の技術評価が必要と考えている理由
 - ✓ その他、現行L2処分施設の放射能評価方法の適用経緯や、諸外国における放射能濃度評価方法の理論的方法の適用事例
- また、会合において“技術基準”が定まっていなかったために技術評価できないとコメントを頂いたことについて、この“技術基準”が昨年11月の規制委員会において本年4月頃に示されるとされていた第二種廃棄物埋設に係る規制等の改正案及び審査ガイド案に含まれているのかについて確認させて頂きたい。

中深度処分対象物は、高線量であり作業者の被ばく低減等のため、その特性（材質や照射履歴等が明確であること）を活かして「放射化計算」による放射能濃度評価としたいと考えている。

このため、**技術評価をして頂きたい事項（主要論点）**は、以下に整理したとおり、一般的な放射化評価方法（「点推定法」）ではなく、**ISOにも取り込まれた「区間推定法」、及びその方法を採用する際に評価上ポイントとなるもの（評価に当たってその妥当性確認が必要なもの）**である。

- 学会標準で定めているのは、2種類の放射化計算法（「点推定法」、「区間推定法」）。このうち、「点推定法」は、特定のパラメータを用いて行う放射化計算法で、既存の計算手法である。
- これに対して、今回、技術評価をして頂きたい「区間推定法」は、「点推定法」を発展させたものであり、同様の廃棄物特性（材質等）、照射状態にあった放射化金属の代表的な放射能濃度や濃度比を算出することを目的とした手法で、中深度処分対象物の放射能評価にて主に使用する方法である。「区間推定法」では、放射化計算に用いる入力データ（元素条件（分析など）、中性子条件（計算）、照射条件（運転データ））をあらかじめ収集しデータベース化したうえで、評価対象廃棄物の条件範囲を網羅するために、データベースからランダムサンプリングした入力データを用いて放射化計算を複数回行い、計算結果の妥当性確認（計算数と計算結果の相関が安定したことを確認）を行う。
- 技術評価においては、上記「区間推定法」以外に、技術的な妥当性の評価ポイントと考える以下の点を主に議論いただきたい。
 - （1）放射化計算に必要な入力データベースの作成方法（材料の元素濃度分布設定方法等）
 - （2）放射化計算の入力データベースからの選択方法、計算数の充足性の確認方法、理論計算法の種類を選択方法

理論的方法の種類	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
方法の概念図				
基本原理と評価対象の代表性又は網羅性の確保方法	放射化金属等中に生成する放射性核種濃度を、特定の廃棄物の特定の放射化条件（保守的位置、代表位置など）における放射化計算の結果から、評価対象廃棄物又は評価対象廃棄物グループごとの放射能濃度の値で決定する。	同種の放射化金属等の中で同時に照射された元素から生成した核種について、評価対象廃棄物グループの条件範囲を網羅した放射化計算の結果から、一定の難測定核種及びKey核種の濃度比を算定し、Key核種濃度から難測定核種濃度を決定。	放射化金属等の核種の生成因子である燃焼度などの管理指標と密接な放射能濃度を、評価対象廃棄物グループの条件範囲を網羅した放射化計算の結果から、管理指標（燃焼度など）に対する換算係数として算定し、管理指標から係数を用い核種の放射能濃度を決定。	同一の照射時間、材料組成の放射化金属等に生成する放射性核種濃度（中性子分布だけが異なる）を、評価対象廃棄物グループの放射化計算の条件範囲を網羅した放射化計算の結果から、放射能濃度分布及び代表的な放射能濃度（例えば平均値）として決定する。

適用が想定される例	<ul style="list-style-type: none"> ・代表点で評価しても良いと考えられる比較的小寸の廃棄物 ・ジェットポンプなどの小構造物、制御棒リミッタ部 	<ul style="list-style-type: none"> ・材料、中性子条件、照射時間に特定できる範囲が想定される廃棄物 ・チャンネルボックス、制御棒、支持管など 	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料（燃焼度管理）との関係性が強い廃棄物 ・チャンネルボックス、制御棒、バーナブルピースなど 	<ul style="list-style-type: none"> ・放射能濃度範囲が狭く、原子炉軸方向、又は径方向の中性子束分布のみが異なる円筒状、円盤状廃棄物 ・シラウド、圧力容器、支持板など
-----------	---	---	--	---

早期の技術評価を希望している理由

事業者としては、以下の規制基準等のご検討状況、及び安全研究として事業許可申請やWACにおいて活用されることを念頭にされご検討されている状況を踏まえて、今回、円滑な廃止措置の実施を目指し、本標準の早期の技術評価を要望したものである。

○規制基準の整備状況

- 第64回原子力規制委員会(2020年2月19日)において、事業者より『一部の発電所における廃止措置は2030年代に完了することを目指しており、廃止措置を計画的に進めるためにも、廃止措置段階において、あらかじめ埋設の基準に適合する廃棄体化の検討を進められるよう規則を整備していただき、廃棄物確認方法についても議論させていただければ』と要望。
- 同規制委員会資料の中で、「事業者等による早期のWACの検討を促すとともに、廃止措置段階においてあらかじめ埋設の基準に適合する廃棄体化の検討が可能となるよう廃棄体の技術基準等を策定」として、第2種埋設事業規則について現時点での改定が合理的と判断いただき整備を進めていただいていると認識。
- なお、第40回原子力規制委員会(2020年11月25日)において「第二種廃棄物埋設に係る規制等の改正案及び審査ガイド案を作成し、原子力規制委員会に諮る。：2021年4月頃」と示されており、技術基準案は近いうちに示されるものと認識している。

○安全研究のご検討状況

- 「「今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針」について(2020年6月24日原子力規制委員会)」では、放射性廃棄物埋設施設については「今後、整備された規制基準等に基づく審査で必要となる科学的・技術的知見を取得する研究が重要である」ことや、廃止措置・クリアランスについては、「事業許可申請及び後続規制における廃棄体等の安全性の確認、・・・を適切に行う上で、必要となる科学的・技術的知見を取得し、蓄積する必要がある。また、上記に共通する基盤技術として、最新の放射能濃度の測定技術について広く情報集め、測定における不確かさ等について知見を蓄積する必要がある。」旨示されており、安全研究プロジェクトが策定されている。
- また、その際に示された研究計画(案)の中で、より具体的に「事業(変更)許可申請の審査及びWACに係る保安規定(変更)認可申請の審査に関する技術基盤並びに原子力規制検査のうち廃棄物確認に関する技術基盤に活用」、「中深度処分対象廃棄体に含まれる放射化核種について、放射化学分析及び放射化計算により放射エネルギーを評価する場合の留意点の抽出のための調査を行う。」とされており、本標準は、中深度処分対象廃棄物の放射能濃度評価手順を産学の専門家によって公平、公正な公開審議を経て制改定したものであり、技術評価いただくことで上記安全研究にも資することができると思われる。

現行L2処分施設の放射能評価方法の適用について

現在、埋設を実施している日本原燃(株)低レベル放射性廃棄物埋設センターの先例は以下のとおり。

➤ 1号廃棄体関係（均質・均一固化体）

科学技術庁より核燃料安全審査会に対して調査審議依頼を行い、原子力安全委員会により「日本原燃産業(株)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）」（1992年4月2日）として最終的に了承されている。

この文書中には、評価で適用されている、“非破壊外部測定法”、“理論計算法”、“スケーリングファクタ法”、“平均放射能濃度法”など方法とともに適用できる核種が示されている。

➤ 2号廃棄体関係（充填固化体）

（財）原子力安全技術センター（当時の指定廃棄確認機関）において、科学技術庁の委託を受け、有識者による廃棄確認技術委員会が設置され、雑固体廃棄物の実態調査、測定方法、及び技術基準等の検討が1993年度より開始されている（結果については、年度ごとに報告書としてとりまとめられている）。また、日本原燃(株)の2号埋設施設に係る「事業変更許可申請書」においても、放射線測定装置の測定性能などが審議されており、その成果は活用されているものと考える。

上記を踏まえ、科学技術庁より（財）原子力安全技術センターへ「充填固化体の廃棄確認の実施について(通知)」（1999年9月27日）が通知されている。

また、2003年10月のJNES設立に伴い、JNES が指定廃棄確認機関となったことから、それ以降、放射能測定など技術的な検討が必要な場合は、JNES が検討を行いその妥当性について確認を行っている。具体的には、事業者からの検討依頼等を受け、有識者による「廃棄確認技術検討会」の助言を受けて、最終的にはJNES-SS レポートとして公表されている。



- 1号廃棄体の放射能濃度評価方法については、事業許可の付帯条件として許可後に行政庁が確認すべき重要事項として、調査審議を行うことが求められ、核燃料安全専門審査会にて審議の上、原子力安全委員会に報告されている。
- 2号廃棄体については、**今回、技術評価を希望しているL1対象廃棄物と同様に事業許可は申請されていなかったが、前述の報告書では、“今後、埋設処分が予定される雑固体廃棄物の場合も、（中略）確認方法を確立することは、雑固体廃棄物処分に不可欠である”とされ、埋設事業許可以前より検討が開始されていた。**事業者も、この間に、これと呼応する形で雑固体廃棄物処理設備の設置に必要な手続きを進めていた。また、検討にあたっては有識者の委員会を設置、また、廃棄確認が開始されてからも新たな知見に対して有識者による検討会等により対応して頂いていた。

諸外国における放射能濃度評価方法の理論的方法の適用事例について

現在、余裕深度処分対象の廃棄物処分を検討している国において、1.に示すとおり、本標準の国内規格への取込がされている事例がある。また、取込はされていないが廃止措置が進んでいる米国においては、必要なNUREG等が整備されている。

1. ISO16966:2013の各国の国家規格への取り込み状況

本標準 (AESJ-SC-F015:2010) をベースに標準化された国際標準であるISO16966:2013 “Theoretical activation calculation method to evaluate the radioactivity of activated waste generated at nuclear reactorsは、下表の国で、国家規格として、採用されている。

	ISOの調査に対して国家規格に、そのまま取り込んだと回答した国	調査で該当する規格が存在した国
採用国	英国 : BS ISO 16966:2013 フランス : NF ISO 16966 Février 2014 スウェーデン : SS ISO 16966:2014	ロシア : St ISO 16966:2013
国際規格をISO番号で採用 (独自附番無し)	中国 : 国際標準化組織, 关于放射性废物的标准 (国際標準: 放射性廃棄物に関する) ISO 16966-2013 核能.核燃料技术.评估核反应堆产生的活性废物放射性的理论激活计算方法	--

日本では、このISO標準の利用の分野が、原子力の廃棄物分野に限定されることから、日本原子力学会標準 (AESJ-SC-F015:2010) をベースに標準化された国際標準であるISO16966:2013との整合性を図るために、学会標準AESJ-SC-F015を改定し、2019年版として発行した。^注

注) 国際規格のJIS化: 1995年に発足したWTO (世界貿易機関) のTBT協定 (貿易の技術的障害に関する協定) により、加盟国はその国の国家規格の類似する箇所について、ISOやIECなどの国際規格に合わせていくことが義務づけられた。

2. 米国事例

海外で、比較的濃度の高い放射化金属等 (クラスC) の埋設処分を実際に実施しているのは米国だけと考えられる。米国は、今回、ISOを採用していないが、以下のとおりのNUREG等が整備されており、処分が実施され廃止措置が進んでいる。

NRC (Nuclear Regulatory Commission)	国立研究所 (ORNLなど)	事業者
<p>10 CFR part 61.55 waste classification : クラスC (現段階での最大濃度の廃棄物区分) として埋設できる最大放射能濃度 (C-14、Nb-94など) を規定している。</p> <p>Technical Position Paper: 類似材質タイプの放射化計算による放射能濃度の評価をNRCが認めている。</p> <p>NUREG/CR-3474, NUREG/CR-6390などの評価事例: 放射化金属の放射化計算と放射化学分析結果の比較を踏まえた適用性を評価している。</p>	<p>放射化計算コードなどの提供 放射化物の放射能濃度の計算に必要な計算コードの開発、提供を行っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> SCALE コード (ORIGENのVersion up版) ISOSCALE (炉内遮蔽計算などに適用) MCNP (中性子輸送計算に適用) <p>理論計算法の妥当性評価 放射化計算の評価も行い、計算の妥当性などを評価している。(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> INEL-95/0419 PNL-6906/10103 	<p>処分対象廃棄物の放射能の評価 廃棄物発生者として、NRCの規制、指針などを踏まえ、ORNLなどの国立研究所から提供を受けた計算コードを使用して、対象とする原子炉の運転管理データなどを踏まえて、埋設対象廃棄物の放射能濃度の計算を実施し、放射能濃度を申請している。</p>

Technical Position Paper : Commission Licensees, FINAL WASTE CLASSIFICATION AND WASTE FORM TECHNICAL POSITION PAPERS (May 11 1983)

NUREG/CR-3474 : Long-Lived Activation Products in Reactor Materials (AUG 1984)

NUREG/CR-6390: Radiological Characterization of Spent Control Rod Assemblies, Pacific Northwest Laboratory (NOV 1995)

INEL-95/0419: Use of MCNP for Characterization of Reactor Vessel Internals Waste from Decommissioned Nuclear Reactors, Idaho National Engineering Laboratory (SEP 1995)

PNL-6906 : Spent Fuel Assembly hardware: Characterization and 10CFR61 Classification for Waste Disposal., Volume 1: Activation Measurements and comparison With Calculations for Spent Fuel Assembly Hardware, (JUN 1989)

PNL-10103: Non-Fuel Assembly Components- 10 CFR 61.55 Classification for Waste Disposal, Pacific Northwest Laboratory, (SEP 1994)

中深度処分対象物は、高線量であり作業者の被ばく低減等のため、その特性を活かして「放射化計算」による放射能濃度評価としたいと考えており、今回ご説明した内容は以下のとおり。

- 技術評価をして頂きたい事項は、既存の放射化評価方法ではなく、ISOにも取り込まれた新たな評価方法、及びその方法の採用にあたり妥当性の確認が必要と考えられるもの。
- 事業者としては、規制基準等のご検討状況、及び安全研究として事業許可申請やWACにおいて活用されることを念頭にご検討されている状況を踏まえて、円滑な廃止措置の実施を目指し、本標準の早期の技術評価を要望したものです。
- 国内の先行事例においても、事業許可申請前より、国大において評価方法の検討が実施され、安全審査や事業者の処理設備設置に活用されていた事例があること。
また、海外においても、処分場が確定していなくても評価方法が国内規格として取り入れられた事例があること。

上記、及び、ご検討中の規則等が本年4月頃に示される予定であることを踏まえて、2021年度の技術評価をお願いしたい。

また、仮に、今回提示して頂く規則等に技術基準が含まれていない場合であっても、将来的にも放射能濃度評価が必要となることは明らかであり、また、国内外の事例を踏まえても、先行して技術評価を行って頂くことは可能と考えられることから、円滑な廃止措置に資するために、議論できる場を設けて頂きたい。

參考資料

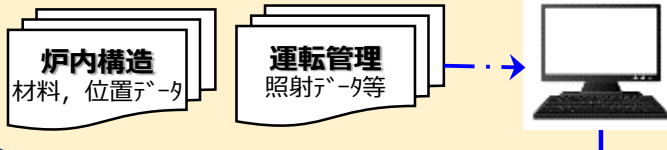
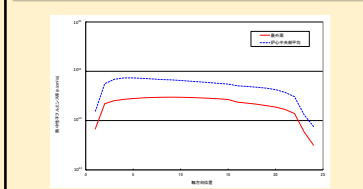
（1）放射化計算に必要な入力データベースの作成方法

技術評価では、放射化計算に必要な入力データのデータベース作成の手順が技術的に妥当であることなどについて評価いただきたい。

中性子条件

- 炉内構造データ、運転データを用いた中性子輸送計算により、炉内中性子束分布を設定

炉内軸方向の中性子分布



照射条件

- 炉内設置位置の情報により設定（固定条件）
- 原子炉の運転開始から停止までの照射時間で設定

炉内でのシュラウドの設置位置

円筒形状で、原子炉内の軸方向に挿入設置されている。中性子照射条件としては、軸方向の分布の影響が主体的である

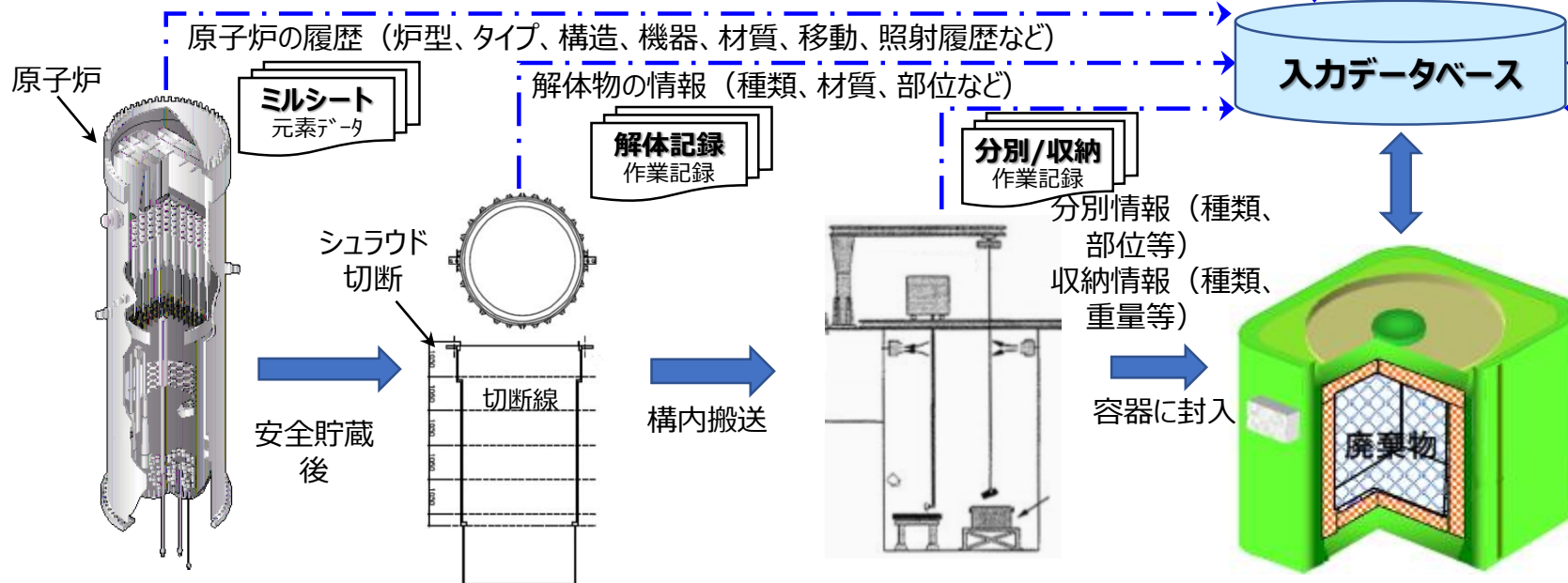
照射時間

炉内構造物のため、運転開始から停止までの照射期間（固定の照射時間と照射停止時間）

材料元素濃度データ

- ・ミルシート
- ・元素分析データ
- ・鉱物岩石データ（データ取得不可の場合）
- ・データが少ない元素は分析数に応じ、**統計的な元素濃度分布を設定する**

データが比較的小さい場合	<p>一例 平均、偏差に保守性を加えた設定</p> <p>確率密度 検出データの平均値 平均値の95%信頼上限 平均の分布 保守的な観測を設定した分布 設定平均値 (平均値の95%信頼上限) 元素濃度 (%)</p>
データが非常に少ない	<p>一例 最大値から保守性を加えた設定</p> <p>確率密度 検出最大値 保守的な観測を設定した分布 保守的な観測を設定した分布 平均濃度 (設定値) 元素濃度 (%)</p>
検出下限しか得られない	<p>一例 検出下限から保守性を加えた設定</p> <p>確率密度 元素分析の実際の分布 (推定) 検出下限 平均濃度 (設定値) 元素濃度 (%) σ: 平均的な標準偏差 (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)</p>

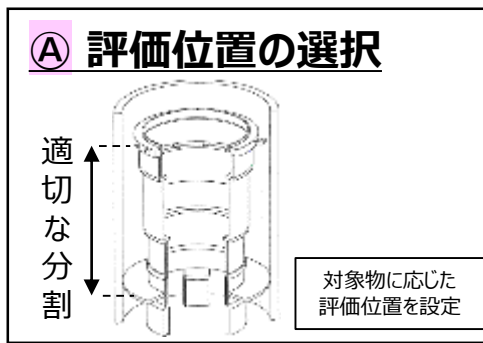
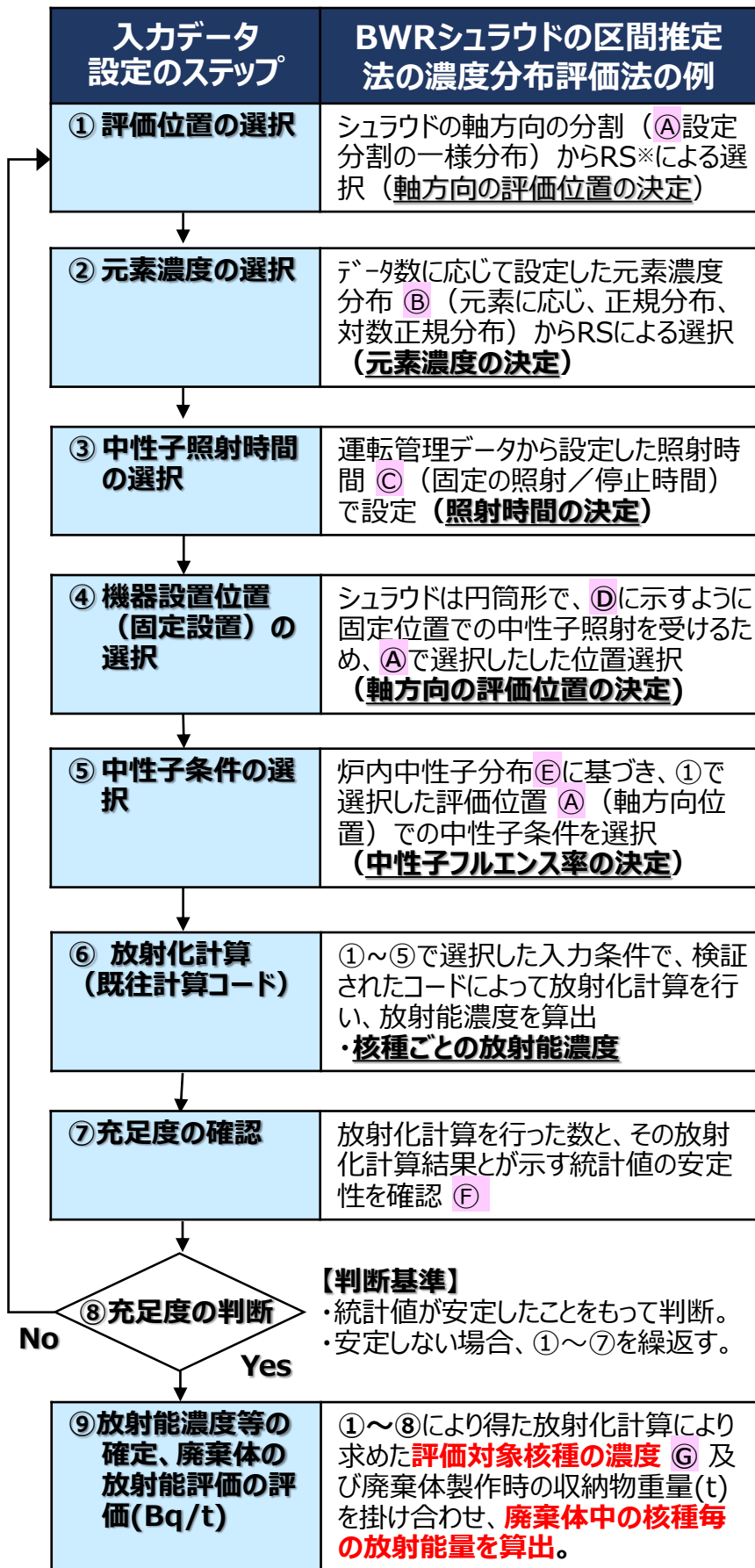


放射化計算へ

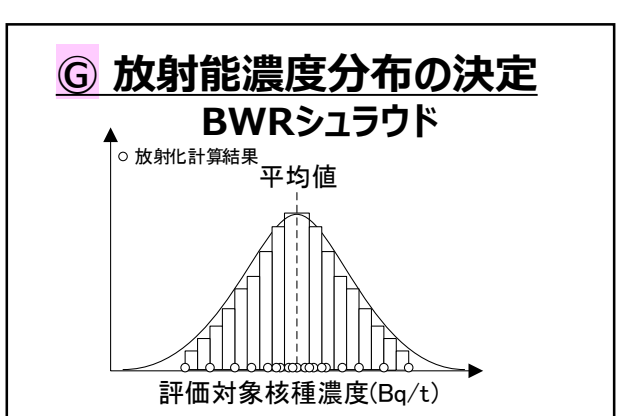
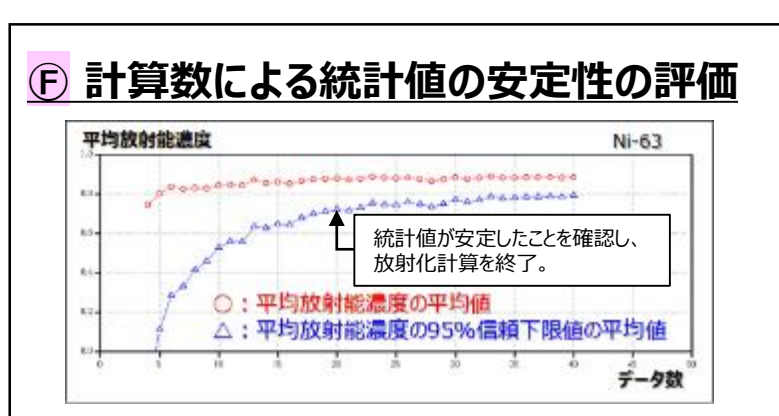
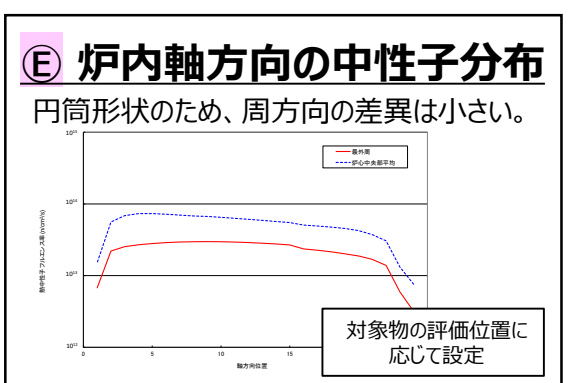
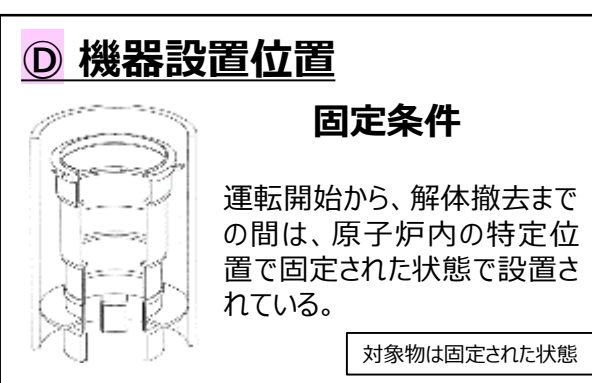
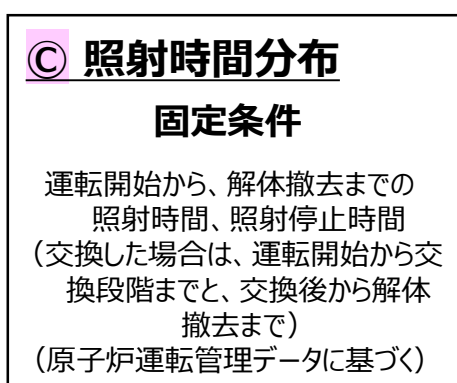
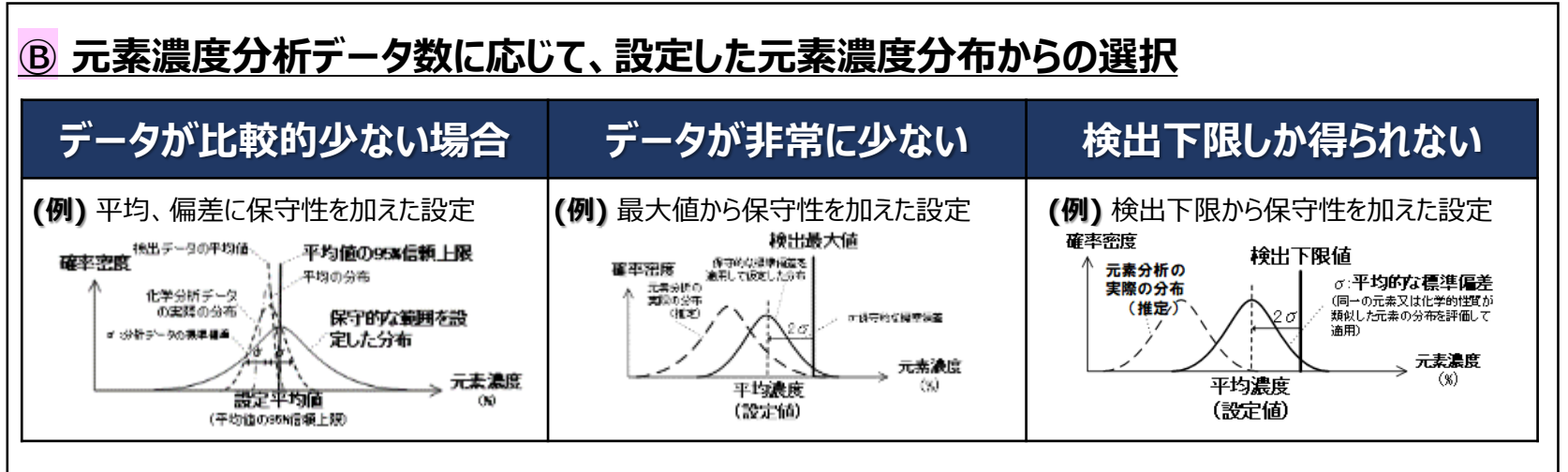
廃棄体とのトレースができるデータ

- ・機器の解体記録
- ・分別/収納記録

（2）放射化計算の入力データベースからの選択方法、計算数の充足性の確認方法、理論計算法の種類の選択方法



技術評価では、放射化計算の入力データベースからのデータの選択、計算数の充足度判定、放射能濃度評価に係る一連の手順が技術的に妥当であることなどについて評価いただきたい。

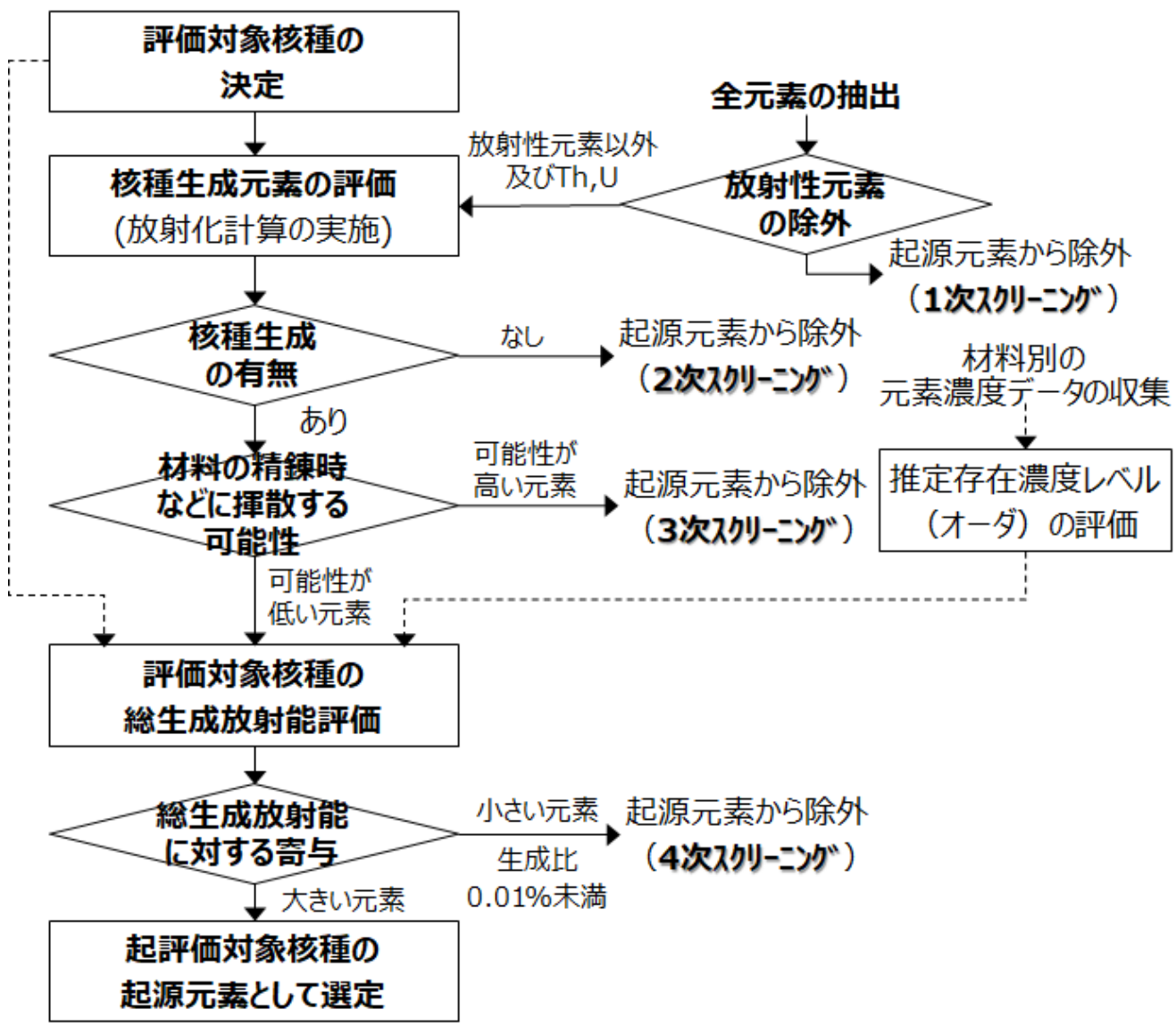


※RS：ランダムサンプリング。分布に応じてJISに規定される乱数によるサンプリングを行う

本標準での評価対象核種の扱いについて

- 評価対象核種は、埋設事業許可申請において埋設処分施設の安全評価などを踏まえ決定される放射性核種であり、現状、特定できるものではない。このため、本標準では、特定の評価対象核種を想定した扱いとしてではなく、将来、どのような核種が評価対象核種となっても対応できるように、その核種の放射化計算の際に必要な起源元素の選定手順を示している。
- 具体的には、“政令記載核種”及びピット処分対象廃棄物の“申請核種”を参考としていくつかの評価対象核種を仮定して、この選定手順に沿った起源元素の選定例が示されている。

評価対象核種からの起源元素の選定手順	
基本的考え方 (6.1.2.2.1)	<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>
スクリーニング	<p>1次</p> <p>放射性同位体は、起源元素から除外できる。ただし、天然に広く存在し、種々の放射性核種の起源元素となるTh及びUは、除外しない。</p>
	<p>2次</p> <p>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。</p>
	<p>3次</p> <p>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良い元素もある。</p>
	<p>4次</p> <p>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（生成比0.01%未満）は、起源元素から除外できる。</p>



注1 起源元素：中性子照射によって評価対象核種を生成する元素。
 注2 標準本文細箇条6.1.2.2.1及び附属書G（選定的前提条件：G.1.1.2、選定手順G.1.1.3）に詳細を示している。