

放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの
導出に係る技術的検討結果について
(案)

平成22年10月

放射線安全規制検討会

文部科学省
科学技術・学術政策局

目 次

1. はじめに	.....
2. クリアランスレベルの検討に係る国内外の動向	.....
2. 1 IAEA におけるクリアランスレベルの検討	.....
2. 2 クリアランスレベルの検討に係る我が国の動向	.....
3. 放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る検討について	.....
3. 1 第2次中間報告書の取りまとめの概要	.....
3. 2 放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る 基本方針	.....
3. 2. 1 設定方針	.....
3. 2. 2 クリアランスレベルの設定手順	.....
3. 3 放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る流れ	.....
4. クリアランスレベルの設定に係る検討	.....
4. 1 クリアランス対象物の物量について	.....
4. 1. 1 RI 汚染物について	.....
4. 1. 1. 1 RI 汚染物のうちクリアランス対象物の物量の考え方	.....
4. 1. 1. 2 RI 汚染物に係るクリアランス対象物とその物量	.....
4. 1. 2 放射化物について	.....
4. 1. 2. 1 放射化物のうちクリアランス対象物の物量の考え方	.....
4. 1. 2. 2 放射化物に係るクリアランス対象物とその物量	.....
4. 2 クリアランスレベルの算出について	.....
4. 2. 1 クリアランスレベルを算出する対象核種の選定	.....
4. 2. 1. 1 RI 汚染物に係る対象核種の選定	.....
4. 2. 1. 2 放射化物に係る対象核種の選定	.....
4. 2. 1. 3 クリアランスレベルを算出する対象核種の選定結果	.....
4. 2. 1. 4 対象核種の選定に係る留意事項	.....
4. 2. 2 クリアランスレベルの算出に係る評価経路について	.....
4. 2. 2. 1 埋設処分の評価経路	.....
4. 2. 2. 2 再利用・再使用の評価経路	.....
4. 2. 2. 3 焼却処理の評価経路	.....
4. 2. 3 クリアランスレベルの算出に係る計算モデルについて	.....
4. 2. 3. 1 埋設処分の計算モデル	.....
4. 2. 3. 2 再利用・再使用の計算モデル	.....
4. 2. 3. 3 焼却処理の計算モデル	.....
4. 2. 4 クリアランスレベルの算出に用いる評価パラメータについて	.....
4. 2. 5 クリアランスレベルの暫定値の算出結果	.....

5. クリアランスレベルの暫定値の算出に用いたシナリオの妥当性評価について

(確率論的解析)

- 5. 1 シナリオの妥当性評価の目的及び方法
- 5. 2 クリアランスレベルの算出に用いたシナリオの妥当性評価
 - 5. 2. 1 確率論的解析を行う対象核種の選定
 - 5. 2. 2 確率論的解析の対象経路の抽出
 - 5. 2. 3 確率論的解析によりばらつきの影響を確認すべき評価パラメータについて
 - 5. 2. 4 確率論的解析に用いる評価パラメータの分布幅及び分布型の設定について ??
 - 5. 2. 5 RI 汚染物を対象とした核種の確率論的解析の結果
 - 5. 2. 5. 1 評価パラメータのばらつき評価結果
 - 5. 2. 5. 2 シナリオの妥当性評価結果
 - 5. 2. 6 放射化物を対象とした核種の確率論的解析の結果
 - 5. 2. 6. 1 評価パラメータのばらつき評価結果
 - 5. 2. 6. 2 シナリオの妥当性評価結果
 - 5. 2. 7 確率論的解析の結果を踏まえた評価パラメータ等の見直し
- 5. 3. 確率論的解析の結果について整理

6 国際的なクリアランスレベルとの比較

- 6. 1 国際的なクリアランスレベル
- 6. 2 SRS No.44 の考え方に基づいたクリアランスに係る放射能濃度の算出
 - 6. 2. 1 SRS No.44 で用いられている被ばくシナリオ
 - 6. 2. 2 被ばくモデル
 - 6. 2. 2. 1 外部被ばくに係るモデル (WL, WF, WO, RH, RP シナリオ)
 - 6. 2. 2. 2 吸入による被ばくに係るモデル (WL, WF, RL, RF, RP シナリオ)
 - 6. 2. 2. 3 経口摂取による被ばくに係るモデル (WL, WF, RP, RL シナリオ)
 - 6. 2. 2. 4 地下水移行シナリオを考慮した被ばくに係るモデル (RW シナリオ)
 - 6. 2. 2. 5 皮膚被ばくに係るモデル (SKIN シナリオ)
 - 6. 2. 3 SRS No.44 で用いられた評価パラメータ
 - 6. 2. 4 SRS No.44 の考え方に基づいた放射能濃度の算出結果
- 6. 3. 国際的なクリアランスレベルとの比較
 - 6. 3. 1. SRS No.44 の放射能濃度値との比較の結果に係る考察
 - 6. 3. 2. 今回の算出結果が SRS No.44 の放射能濃度値より低くなった核種について
 - 6. 3. 3. 今回の算出結果が SRS No.44 の放射能濃度値より 2 桁以上大きくなった核種について
 - 6. 3. 4. 国際的なクリアランスレベルとの比較の結果

7. 放射線障害防止法に規定するクリアランスレベル	.....
8. おわりに	.....
参考文献	.....
放射線安全規制検討会の委員名簿・開催日	.....
クリアランス技術検討ワーキンググループの委員名簿・開催日	.....
付録1	.....
付録2	.....

1. はじめに

ある物質に含まれる微量の放射性物質に起因する線量が、自然界の放射線レベルに比較しても十分小さく、人の健康への影響が無視できるものであるならば、その物質を放射性物質として扱う必要がないものとして、放射線防護に係る規制の枠組みから外すという考え方を「クリアランス」という⁽¹⁾。

我が国では、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下、「原子炉等規制法」という。）で規制されている原子力施設から発生する放射性廃棄物を対象にした「クリアランス」に係る制度の検討が、経済産業省の総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会（以下、「廃棄物安全小委員会」という。）においては平成 15 年 11 月に^(1-A)、また、文部科学省の研究炉等安全規制検討会においては平成 16 年 8 月に開始された。これらの検討結果を踏まえて、平成 17 年 5 月 20 日に原子炉等規制法が改正され、クリアランス制度が導入された。その後、具体的なクリアランスレベルや技術基準等を規定した関係政省令が整備され、平成 17 年 12 月 1 日に施行された。これまでに、日本原子力発電株式会社東海発電所において、国による約 400 トンの金属のクリアランスの確認が行われ、その一部がベンチ等として再利用されている。また、独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という。）においても、国による約 377 トンのコンクリートのクリアランスの確認が行われており、今後、路盤材等として再利用される見通しである。

一方、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（以下、「放射線障害防止法」という。）」へのクリアランス制度の導入に係る検討を、文部科学省の放射線安全規制検討会において平成 16 年 10 月から開始し、まず、放射性同位元素の使用等に伴って発生する廃棄物や放射線発生装置の解体等に伴って発生する廃棄物のそれぞれの物量、廃棄物に含まれている放射性同位元素の種類及びその放射能濃度等の実態調査を行ってきた。その後、放射線障害防止法へのクリアランス制度の導入に向けた技術的な検討の充実を図る目的から、平成 17 年 8 月 8 日に放射線安全規制検討会の下に「クリアランス技術検討ワーキンググループ」（以下、「クリアランス WG」という。）を設置した。これにより、放射線安全規制検討会ではクリアランス制度の枠組みに係る事項について、クリアランス WG ではクリアランスレベル以下であることの測定・判断方法等のクリアランス制度化に係る技術的事項について、それぞれ検討することとした。

クリアランス WG においては、放射線障害防止法におけるクリアランス制度の導入にあたって解決すべき技術的事項や技術的な成立性について検討を行い、特に放射線発生装置の解体等に伴って発生する廃棄物、及び短半減期核種のみを取り扱う場合の減衰保管廃棄に係る事項について、平成 18 年 6 月に「放射線障害防止法におけるクリアランス制度の整備に係る技術的検討について（中間報告書）」（以下、「平成 18 年度中間報告書」という。）としてとりまとめた。これに対して、放射線安全規制検討会においては、平成 18 年度中間報告書に示された課題やクリアランス制度に対する事業者のニーズ、経済的なメリット等、また、クリアランス制度の検討にあたって整理が必要な放射線発生装置の使用に伴って発生する放射化物の取扱い及び廃止措置に関する事項について、必要な情報をとりまとめ、今後の進め方について審議することとした。

平成 18 年度中間報告書のとりまとめ以降、文部科学省では、関係事業者の協力を得ながら、放射化の程度が低い放射線発生装置を主な対象として放射化状況の調査を進めており、特に国内設置台数の多い医療用電子直線加速器の施設構造物の放射化の有無等について確認してきた。また、短半減期核種のみによって汚染された物のクリアランス制度における減衰保管廃棄については、

平成 18 年度中間報告書において、技術的成立性はあるものの、事業者のニーズを確認し、制度としての成立性を含めた検討が必要であるとされたことから、非密封放射性同位元素の使用者等を対象としたクリアランス制度に関するニーズ調査を行ってきた。

さらに、放射線障害防止法によって規制された放射性廃棄物についても埋設処分の計画が進展しており、放射性廃棄物処分に関係する制度全体を整備することが求められていることから、放射線障害防止法を改正してクリアランス制度を導入するための具体的な検討を放射線安全規制検討会において進めることとなった。

このような状況を踏まえ、平成 21 年 4 月からは放射線安全規制検討会において放射線障害防止法へのクリアランス制度の導入に係る検討を再開し、平成 21 年 6 月からはクリアランス WG においてクリアランス制度導入に係る技術的事項に係る検討を再開し、これらの検討結果について平成 22 年 1 月に放射線安全規制検討会が、「放射線障害防止法へのクリアランス制度の導入に向けた技術的検討結果について（第 2 次中間報告書）」（以下、「第 2 次中間報告書」という。）を取りまとめた。

文部科学省では、放射線安全規制検討会等における平成 16 年 10 月から第 2 次中間報告書の取りまとめまでの検討を踏まえたクリアランス制度の導入や放射線発生装置の使用に伴って発生する放射化物の安全規制等に係る改正法律案^{※1}を、平成 22 年 3 月 5 日に第 174 回通常国会に提出した。同改正法律案は第 174 回通常国会で審議され、4 月 28 日に国会で可決された。同改正法については、平成 22 年 5 月 10 日に公布しており、現在は、関係する政省令・告示の改正に向けた検討を進めている。

以上の状況を踏まえ、本報告書では、放射線障害防止法におけるクリアランス制度の運用開始に向けて行った放射線障害防止法に定めるクリアランスレベルの技術的検討結果について取りまとめ、放射線障害防止法の告示に規定するクリアランスレベルの設定に資する。

参考文献

(1-A)：総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会、「原子力施設におけるクリアランス制度の整備について、平成 16 年 9 月 14 日（平成 16 年 12 月 13 日改訂）

(1-B)：文部科学省 研究炉等安全規制検討会、「試験研究用原子炉施設等の安全規制のあり方について」、平成 17 年 1 月 14 日

(1-C)：文部科学省ホームページ (http://www.mext.go.jp/b_menu/houan/an/06030110/1291489.htm)

※1：放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律の一部を改正する法律案^(1-C)

2. クリアランスレベルの検討に係る国内外の動向

2. 1 IAEA におけるクリアランスレベルの検討

国際原子力機関（IAEA：International Atomic Energy Agency）（以下、「IAEA」という。）は、平成8年（1996年）1月に、「クリアランスレベル」という用語を使用して、原子炉施設等における比較的多量の廃棄物及び再利用可能なものの固体状物質を主に念頭に置いて、その考え方、導出の方法等を初めて記載した技術文書「IAEA 技術文書 855：固体状物質に含まれる放射性核種のクリアランスレベル^{※2}」（以下、「TECDOC-855」という。）を出版した。また、同年2月には、「IAEA 安全シリーズ No.115：電離放射線に対する防護と放射線源の安全のための国際基本安全基準^{※3}」（以下、「BSS」という。）において、クリアランスの概念を整理した⁽²⁾。

さらに、IAEA は、TECDOC-855 に示したクリアランスレベルについて、見直しを行うための検討を開始し、平成16年（2004年）8月に「IAEA 安全指針 RS-G-1.7：規制除外、規制免除及びクリアランス概念の適用^{※4}」（以下、「RS-G-1.7」という。）を出版している。この中で、免除、クリアランス及び除外の定義が以下のように示されている⁽³⁾。

○免除（Exemption）

線源又は行為に起因する被ばく（潜在被ばくを含む）が非常に小さく、規制機関による管理事項の一部又は全部を適用することが正当とは見なされないとすることを根拠に、その線源又は行為は、そのような管理事項に従う必要がないと規制機関が決定すること。

○クリアランス（Clearance）

法的に許されている行為の中で扱われている放射性物質又は放射性の物体を、その時点以降、規制機関による一切の管理から外すこと。

○除外（Exclusion）

ある特定の種類の被ばくを、規制機関による管理の仕組みを使った管理によっては律することができないと考えられるという理由で、その管理の仕組みの適用範囲から意図的に除外すること。

また、RS-G-1.7 では、天然起源及び人工起源の放射性核種（以下、「核種」という。）ごとに、大量の物質に対する規制除外又は規制免除が適用できる放射能濃度が示されており、これらの濃度がクリアランスに対して適用の根拠となり得るとしている⁽⁴⁾。

2. 2 クリアランスレベルの検討に係る我が国の動向

我が国におけるクリアランスレベルに係る議論については、昭和59年8月に原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会がとりまとめた「放射性廃棄物対策専門部会中間報告書／放射性廃棄物処理処分方策について」において、放射性廃棄物と「放射性廃棄物として扱う必要のないもの」を区分する「一般区分値」という概念が初めて提案され、我が国としてその必要性が指摘された。また、これを受けて原子力安全委員会においても昭和60年10月に放射性廃棄物安全規制専門部会により「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基本的考え方について」が

※2：“Clearance levels for radionuclides in solid materials”

※3：“International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources”

※4：“Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance”

とりまとめられ、「無拘束限界値」という用語を用いた「放射性廃棄物としての特殊性を考慮する必要がないもの」の基本的考え方が示された⁽²⁾。

この無拘束限界値に相当する線量については、放射線審議会により昭和 62 年 12 月に基本部会報告「放射性固体廃棄物の浅地中処分における規制除外線量について」（以下、「昭和 62 年基本部会報告」という。）がとりまとめられ、そのなかで「原子炉の解体等に伴って発生する金属等の放射性廃棄物を一般社会に還元し、再利用する場合」の基準の設定に当たっては、「規制除外線量（注：昭和 62 年基本部会報告では 10 マイクロシーベルト／年を用いることが妥当としている）と同様の考え方が適用できるものとする。」とされた。

その後、平成 8 年（1996 年）に IAEA において TECDOC-855 が出版されたことを踏まえて、原子力安全委員会委員長より当時の放射性廃棄物安全基準専門部会に対して、原子力利用に伴い発生する廃棄物の安全かつ合理的な処理、処分及び再利用に資するためにクリアランスレベル設定に関する調査審議に係る指示が出された⁽²⁾。それ以降、原子力安全委員会では以下のようなクリアランスレベルに係る報告書がとりまとめられている。

- 「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて（平成 11 年 3 月）」（以下「原子炉クリアランス報告書」という。）
- 「原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について（平成 13 年 7 月）」（以下、「検認のあり方報告書」という。）
- 「重水炉、高速炉等におけるクリアランスレベルについて（平成 13 年 7 月）」（以下、「重水炉等クリアランス報告書」という。）
- 「核燃料使用施設（照射済燃料及び材料を取り扱う施設）におけるクリアランスレベルについて（平成 15 年 4 月）」（以下、「核燃施設クリアランス報告書」という。）
- 「原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について（平成 16 年 12 月（平成 17 年 3 月一部訂正及び修正）」（以下、「再評価報告書」という。）
- 「ウラン取扱施設におけるクリアランスレベルについて（平成 21 年 10 月）」（以下、「ウランクリアランス報告書」という。）

また、放射線審議会基本部会がとりまとめた報告書「放射性固体廃棄物埋設処分及びクリアランスに係る放射線防護に関する基本的考え方について（平成 22 年 1 月）」においても、「クリアランスレベルの導出に係る個人線量の基準(10 マイクロシーベルト／年)は、我が国が進めているクリアランス制度に今後も適用されるものとする。」と述べられている⁽⁵⁾。

3. 放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る検討について

3. 1 第2次中間報告書の取りまとめの概要

平成21年4月に放射線障害防止法へのクリアランス制度の導入に係る検討が放射線安全規制検討会において再開された後、平成21年7月に「放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る基本方針」が承認された。この基本方針を踏まえ、クリアランスWGにおいては、クリアランスレベルの設定に係る技術的検討が平成22年1月まで行われ、その検討結果を踏まえて、放射線安全規制検討会が第2次中間報告書を取りまとめた。

クリアランスWGにおける主な検討としては、まず、放射性同位元素の使用等に伴って発生する放射性同位元素によって汚染された物（以下、「RI汚染物」という。）及び放射線発生装置の使用に伴って発生するRI汚染物（以下、「放射化物」という。）のうち、クリアランス対象物となる想定物量を算出した。その後、原子力安全委員会が行った原子力施設のクリアランスレベルの算出の考え方^{(2),(4)}を参考に、放射線障害防止法にクリアランスレベルを定める放射性核種（以下、「核種」という。）を選定し、RI汚染物及び放射化物が埋設処分、再利用・再使用、焼却処理される場合の評価経路、計算モデル及び評価パラメータに係る詳細な検討を行った。この検討結果を踏まえ、RI汚染物及び放射化物に対して現実的に起こりえると考えられる評価経路を抽出し、さらに我が国における現実的なパラメータを用いて、決定論的な方法によりRI汚染物及び放射化物を対象とした核種のクリアランスレベルの暫定値を算出した。この暫定値については、国際的なクリアランスレベルとの比較として、IAEAがRS-G-1.7を取りまとめた際にクリアランス等の判断に用いる放射能濃度の基準値の算出根拠として提示されているIAEA Safety Report Series No.44（以下、「SRS No.44」という。）で算出されている放射能濃度の計算値（以下、「SRS No.44の放射能濃度値」という。）との比較を行い、その結果、第2次中間報告書の取りまとめに係り算出したクリアランスレベルの暫定値とSRS No.44の放射能濃度値とに有意な差がないものと認められたことから、「放射線障害防止法へクリアランス制度を導入するために告示に定めるクリアランスレベルとしてRS-G-1.7の値を採用することが適切であると考ええる。」との方向性を示した。

3. 2 放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る基本方針

「放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る基本方針」については、第28回の放射線安全規制検討会において承認されており、クリアランスWGでは、この基本方針に基づいてクリアランスレベルの算出に係る検討が行われてきている。ここでは、放射線安全規制検討会で承認されたこの基本方針の内容を示す。

3. 2. 1 設定方針

放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルについては、第18回放射線安全規制検討会における検討によると、平成18年度中間報告書までは、原子力安全委員会における検討結果を踏まえて、原子炉等規制法、BSSに示された値との整合性等を考慮しながら検討することとしていた。

今回のクリアランス制度導入に向けた検討においては、文部科学省において、関係機関の協力を得て新たに計算を行うこととし、その計算結果に基づき放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定を行うこととした。計算から設定までの手順は、「3. 2. 2」のとおりである。

3. 2. 2 クリアランスレベルの設定手順

放射線障害防止法におけるクリアランスレベルは、先行してクリアランス制度を導入している原子炉施設等におけるクリアランスレベルを原子力安全委員会において検討したときの手順を参考にし⁽²⁾、BSS、RS-G-1.7、その他文献^{(4),(6)}等に示された考え方も適宜取り入れて設定することとする。

具体的には、放射線発生装置の解体等や放射性同位元素の使用等に伴って発生する RI 汚染物に対するクリアランスレベルを下記（１）～（５）に従ってそれぞれ計算し、その後、（６）に従って放射線障害防止法において導入すべきクリアランスレベルを設定することとした。

- （１）対象物の設定
- （２）評価経路及び計算モデルの設定
- （３）評価パラメータの整備
- （４）核種毎のクリアランスレベル計算
- （５）クリアランスレベルの妥当性評価
- （６）放射線障害防止法に規定すべきクリアランスレベルの設定

（１）～（６）の各手順の概要は、以下のとおりとした。

（１）対象物の設定

廃棄業者、放射線発生装置や放射性同位元素の使用者等からの情報及び関係する文献等を参考にして、発生する RI 汚染物、含まれる核種及び放射線を調査した後、クリアランスレベル計算における包絡性や必要性を検討して対象とする RI 汚染物及び放射化物とその種類毎の物量、クリアランスレベルを計算する核種を設定することとした。

なお、放射線障害防止法におけるクリアランス制度では、RI 汚染物に対するクリアランス適用ニーズ等を踏まえ、クリアランス対象物としては固体の RI 汚染物の種類について制限は設けないことを基本方針とし、発生する RI 汚染物を調査する際には、使用・解体等の多様な状況で発生するものを網羅的に含めることとした。具体的には、原子炉施設においてクリアランスの対象とされていない可燃物等について、現状では実際にクリアランス判断が困難であることが予想される短半減期核種以外の核種を含むものも対象とするとともに、医療関係法令によって規制された施設における RI 汚染物も考慮することとした。

（２）評価経路及び計算モデルの設定

対象とする RI 汚染物及び放射化物に起因して、現実に起こり得る埋設処分、再利用・再使用^{※5}に関する経路を抽出する。評価経路の抽出にあたっては、各事業所単位で個別にクリアランスされる場合（以下、「個別クリアランス」という。）と廃棄業者が集荷して一括でクリアランスされる場合（以下、「一括クリアランス」という。）など RI 汚染物の実態を踏まえ、少量から大量までの物量による多様な評価経路を網羅的に含めることとした。また、原子炉施設において評価対象とされていない可燃物等もクリアランス対象物に含めたことから、その主要経路として想定される

※5：本報告書におけるクリアランスレベルの算出において、「再利用」の経路は、クリアランスされた物が、前処理、溶融等の過程を経ることにより新たな製品として利用される経路とし、「再使用」の経路は、クリアランスされた物が、溶融等の過程を経ることなく、そのままの用途で使用される経路とする。

焼却処理に関する経路も新たに抽出することとした。

さらに、抽出した経路のなかで、他の経路と比較して線量が十分小さいと判断される経路の整理を行ったうえで評価経路を選定し、評価対象者に対する被ばく計算モデルを設定することとした。

(3) 評価パラメータの整備

被ばく計算モデルに用いられる評価パラメータ（社会・日常生活の態様に係るもの、自然条件等に係るもの）について、関係する文献等を参考にして現実的と考えられる値を整備することとした。

① 社会・日常生活の態様に係る評価パラメータ

・被ばく形態（作業時間等）・食生活（農作物摂取量等）・使用条件（製品重量等）に係るもの

② 自然条件等に係る評価パラメータ

・自然現象（浸透水量等）・使用条件（処分場の大きさ等）に係るもの
・元素・核種に依存するもの（濃縮及び移行係数等）

(4) 核種毎のクリアランスレベル計算

適切な計算モデルと評価パラメータを使用し、各核種について評価経路毎の基準線量相当濃度（実効線量 $10\mu\text{Sv/年}$ 又は皮膚の等価線量 50mSv/年 に相当する各核種の放射能濃度）の導出を行う。その後、評価経路毎の基準線量相当濃度を比較して、最小濃度となる経路を決定経路とし、その濃度を対象とする RI 汚染物及び放射化物のクリアランスレベルとすることとした。

(5) クリアランスレベルの妥当性評価

クリアランスレベル評価において重要と考えられる核種及び評価経路を抽出し、評価経路の蓋然性評価や評価パラメータのばらつき評価を行い、計算した RI 汚染物及び放射化物のクリアランスレベルの妥当性を評価することとした。

(6) 放射線障害防止法に規定すべきクリアランスレベルの設定

原子炉等規制法との整合性や国際的動向（RS-G-1.7、BSS、諸外国の基準等）、さらに医療法等の関係法令によって規制された RI 汚染物の状況を踏まえたうえで、RI 汚染物及び放射化物について（1）～（5）に従ってそれぞれ導出したクリアランスレベルを比較検討し、放射線障害防止法において規定すべきクリアランスレベルを設定する。なお、対象物（コンクリート、金属、可燃物[焼却灰]等）によって有意な差が生じ、クリアランス判断時に実効性のある分類・判断が可能と考えられる場合、対象物の種類に応じてクリアランスレベルを設定することを必要に応じて考慮する。

RI 汚染物及び放射化物の実態を踏まえると、このクリアランスレベルの設定では、物量や評価経路等に基づいた多様な選択肢による幅広い比較検討が必要になると考えられる。したがって、（1）～（5）の検討では、（6）におけるクリアランスレベル設定の選択肢を狭めないよう多様な計算を幅広く行うこととした。

3. 3 放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る流れ

放射線障害防止法に定めるクリアランスレベルの設定の流れを図 3.1 に示す。

今回のクリアランスレベルの設定については、上述の（１）～（５）に準じてクリアランスレベルの暫定値を算出及び暫定値の算出に用いたシナリオ等の妥当性を評価し、（６）に示すように国際的なクリアランスレベル（放射能濃度値）との比較を行った上で行うこととする。また、暫定値と比較する国際的なクリアランスレベルについては、SRS No.44 の放射能濃度値を用いる。なお、国際的なクリアランスレベルとの比較は、原子力施設のクリアランスレベルの検討が原子力安全委員会において行われた際にも行われている。ただし、放射線障害防止法にクリアランスレベルを定める対象核種として選定された核種のうち SRS No.44 の放射能濃度値が示されていない核種については、国際的なクリアランスレベルに相当する放射能濃度値を SRS No.44 における放射能濃度の算出の考え方・方法に基づいて算出し、暫定値との比較・検討を行うこととする。

4. クリアランスレベルの設定に係る検討

クリアランス WG においては、クリアランスレベルの算出について、上述の「放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る基本方針」に基づいた検討を行った。

クリアランス WG におけるクリアランスレベルの算出に係る主な検討項目は、以下に示すとおりであり、本章では、これらの項目に関する検討結果を示す。

- クリアランス対象物の物量について
- クリアランスレベルを算出する対象核種の選定について
- 算出に係る評価経路について
- 算出に係る計算モデルについて
- 算出に用いる評価パラメータについて
- 算出結果について

4. 1 クリアランス対象物の物量について

放射線障害防止法にクリアランス制度を導入した場合に、クリアランスの対象となる物は、RI 汚染物及び放射化物である。

4. 1. 1 RI 汚染物について

クリアランスの対象と考えられる RI 汚染物には、放射性同位元素の使用等の許可・届出事業者（以下、「RI 事業者」という。）（医療機関、研究機関、教育機関、民間企業等）の RI 使用施設等から発生するもの、及び社団法人日本アイソトープ協会（以下、「RI 協会」という。）がこれまでに集荷し保管しているもの、並びに原子力機構における放射性同位元素の使用等により発生するものがある。

4. 1. 1. 1 RI 汚染物のうちクリアランス対象物の物量の考え方

国内には、医療機関、研究機関、教育機関、民間企業等の RI 事業者が管理する RI 使用施設等が全国各地に存在し、これらの各施設で RI 汚染物が発生している。また、上述のように、これらの RI 汚染物は、現状では RI 協会により集荷され、保管されている。

このような状況を踏まえ、クリアランス制度導入後、様々な RI 事業者が様々な物量に対して独自にクリアランスを実施することも想定されるため、どのような場合にも安全が確保されるように、一括クリアランス及び個別クリアランスが行われる場合を想定して各々の評価に用いるクリアランス対象物の物量（医療関係法令によって規制されている事業所から発生する物を含む）を算出した。

(1) 一括クリアランスを想定した場合のクリアランス対象物とその物量

一括クリアランスについては、全国各地の RI 使用施設等から 1 年間に発生し集荷された RI 汚染物、RI 協会が既に保管している RI 汚染物、及び原子力機構から発生する RI 汚染物がまとめて一括クリアランスされた後に、1 箇所の処分場に埋設されるか、あるいは再利用等のために 1 箇所のリサイクル施設に運び込まれることを想定してクリアランス対象物の物量の算出を行った。

RI 協会及び原子力機構の調査結果に基づいた一括クリアランスを想定した場合のクリアランス対象物の物量の算出結果を表 4.1 に示す。まず、RI 使用施設等から 1 年間に発生するクリアランス対象物の物量については、RI 協会のここ 5 年間の集荷データをもとに算出を行った。RI 協会では、集荷において RI 事業者より提出された「RI 廃棄物記録票」に記載された収納容器ごとの RI 汚染物の種類、核種、放射エネルギーの数値をもとに核種の放射能濃度を算出し、さらに、RS-G-1.7 で示されたそれぞれの核種の放射能濃度との比較が行われ、RS-G-1.7 で示された放射能濃度以下になるものの物量をクリアランス対象物の物量としている。

また、RI 協会がすでに保管している RI 汚染物から発生するクリアランス対象物の物量については、現在保管されている RI 汚染物の収納容器約 13 万本のうち、放射能濃度の高い RI 汚染物を除いた 10,650 トンについて、約 10 年間かけてクリアランスが行われることを想定して物量が算出されており、これに基づいて、1 年間に発生するクリアランス対象物の物量としている。

原子力機構では、ここ 5 年間に発生した RI 汚染物について、RS-G-1.7 に示されたそれぞれの核種の放射能濃度を参考にしてクリアランス対象物の物量が検討され、1 年間の平均物量が算出されるとともに、過去からこれまでに発生した RI 汚染物の保管物量を 20 年で平均化した物量が算出されており、これらの物量を合計して 1 年間に発生するクリアランス対象物の物量としている。

(2) 個別クリアランスを想定した場合のクリアランス対象物とその物量

個別クリアランスについては、RI 使用施設等で発生する RI 汚染物が各 RI 事業者によって個別クリアランスされた後に、1 箇所の処分場に埋設されるか、あるいは再利用等のために 1 箇所のリサイクル施設に運び込まれることを想定してクリアランス対象物の物量の算出を行った。その結果を表 4.2 に示す。

RI 協会では、上記 (1) と同様の考え方で、まず、ここ 5 年間の集荷データをもとに、1 年間に発生すると考えられるクリアランス対象物の物量が算出されている。なお、RI 協会のここ 5 年間の集荷量は、減少傾向にあり (第 29 回放射線安全規制検討会 参考資料 2 参照)、上記のような考え方に基いて 1 年間に発生する物量を算出することは、妥当であると考えられる。また、各 RI 事業者が RI 協会へ排出する物量にばらつきがあることを考慮し、発生した RI 汚染物を事業者が自らの施設で最長 5 年間保管した後に、排出すると想定して、1 年間に発生することが考えられるクリアランス対象物の物量の 5 倍の値をクリアランス対象物の物量とすることとした。ただし、クリアランスの対象となっている土砂については、事業所の汚染土壌であること、廃止措置等で不定期に排出されること、年間の集荷量と関連が認められないことから、これまでの 1 事業所における最大発生量の 2 倍の値を物量としている。

4. 1. 1. 2 RI 汚染物に係るクリアランス対象物とその物量

クリアランス対象物のうち、RI 汚染物について、埋設処分、再利用及び焼却処理の対象になるものとその物量を表 4.3 に示す。

現在行われている産業廃棄物の処分においてプラスチック類、フィルタ材料、コンクリート及び金属塊は、埋設処分の対象となっており、埋設処分の評価経路に相当するクリアランス対象物量が 1,428.8 トン/年であることから、一括クリアランスに係るクリアランスレベルの算出に用いる物量を 1,500 トン/年とすることとした。

また、個別クリアランスについては、クリアランス対象物量は 9.298 トン/年であることから、

クリアランスレベルの算出に用いる物量を 10 トン／年とすることとした。

次に、焼却処理の評価経路に相当する物量のうち、一括クリアランスについては、1,001.53 トン／年であることから、クリアランスレベルの算出に用いる物量を 1,000 トン／年とすることとした。また、個別クリアランスについては、1.083 トン／年であることから、クリアランスレベルの算出に用いる物量を 1.1 トン／年とすることとした。

4. 1. 2 放射化物について

放射線発生装置は、放射性同位元素の使用と同様に、医療機関、研究機関、教育機関、民間企業等で使用されている。これらの放射線発生装置は、使用する荷電粒子の加速エネルギーの大きさによって、装置が使用される施設の態様が異なる。すなわち、加速エネルギーの小さな治療用電子直線加速装置や PET 核種製造用小型サイクロトロンは、医療機関等のような小規模施設で使用され、加速エネルギーの大きなサイクロトロン、シンクロトロンは、教育機関、研究機関、民間企業等のような大規模施設で使用される傾向にある。さらに、使用する荷電粒子の加速エネルギーの大きさやビーム強度等によって、構成機器、設備及び収納室の構成部材において発生する放射化物の放射化の程度が異なってくる。

これらのことから、放射線発生装置及び放射線発生装置使用施設の解体等に伴って発生するクリアランス対象物の物量は、放射線発生装置の種類により大きく異なる。

4. 1. 2. 1 放射化物のうちクリアランス対象物の物量の考え方

上述のように、発生するクリアランス対象物の物量は、装置の加速エネルギーの大きさやビーム強度等によって異なる。そこで、表 4.4 に示す「国内の代表的な医療機関、研究機関等の放射線発生装置使用施設から発生する廃棄物等の物量に関するアンケート調査の結果（高エネ研が大学等放射線施設協議会等の協力を得て行った調査の結果）」に基づき、表 4.5 に示すように装置の加速エネルギーの加速粒子の種類や加速エネルギーの大きさにより区別し、代表的な施設を対象として施設の解体等に伴って発生することが予想されるクリアランス対象物の物量を算出した。

その結果、医療機関のような小規模施設で発生する物量と研究機関、教育機関のような大規模施設で発生する物量では大きく異なり、それぞれの施設で個別にクリアランスを実施する場合は想定されることなどから、いずれの場合にも安全が確保されるように、大規模施設及び小規模施設のそれぞれに対してクリアランスレベルの算出に用いるクリアランス対象物等の物量を求めた。

ここで、小規模施設については、表 4.5 の A から D の施設に係る調査結果を参考に、鉄、ステンレス鋼、アルミニウム、銅、コンクリートからなる各物品の最大物量の合計をクリアランス対象物の物量とし、同様に、大規模施設については、表 4.5 の E から K の施設に係る調査結果を参考に、鉄、ステンレス鋼、アルミニウム、銅、コンクリートからなる各物品の最大物量の合計をクリアランス対象物の物量とした。

また、対象物の種類毎のクリアランスレベルを比較検討するため、大規模施設及び小規模施設にそれぞれの金属類の最大物量の合計及びコンクリートの最大物量をクリアランスレベル算出のための物量とした。

4. 1. 2. 2 放射化物に係るクリアランス対象物とその物量

産業廃棄物の処分において、埋設処分の対象となっているものの情報を参考に、鉄、ステンレス鋼、アルミニウム、銅、コンクリートが埋設処分されるものとして対象物の物量を算出した。なお、3. 1. 2. 1で述べたとおり、放射線発生装置使用施設は、医療機関のような小規模施設から研究・教育機関のような大規模施設まであり、施設毎のクリアランス対象物の物量が大きく異なると予想されることから、クリアランスレベルの算出においては、大規模施設及び小規模施設それぞれに対して物量を算出した。その結果、表 4.6 に示すように、大規模施設については、表 4.5 の E から K の施設に係る調査結果によると、鉄、ステンレス鋼、アルミニウム、銅、コンクリートの最大物量の合計が 42,489 トンとなることから、クリアランスレベルの算出に用いる物量を 42,000 トンとすることとした。また、小規模施設については、表 4.5 の A から D の施設に係る調査結果によると、鉄、ステンレス鋼、アルミニウム、銅、コンクリートの最大物量の合計が 259.31 トンとなることから、クリアランスレベルの算出に用いる物量を 300 トンとすることとした。

4. 2 クリアランスレベルの算出について

4. 2. 1 クリアランスレベルを算出する対象核種の選定

4. 2. 1. 1 RI 汚染物に係る対象核種の選定

クリアランスレベルを算出する対象核種の選定については、RI 協会及び原子力機構により示された情報を基本として考え方を取りまとめた(第 29 回放射線安全規制検討会 参考資料 3 参照)。対象核種の選定においては、RI 使用施設等において使用されている核種や保管されている RI 汚染物に含まれている核種を網羅することが必要である。そのため、RI 協会が RI 使用者等に供給している主な核種、RI 協会が現在保管している RI 汚染物に含まれている核種、原子力機構が使用・保管している核種の中から、クリアランスレベルを算出する対象核種を選定した。

対象核種の選定では、RS-G-1.7 に示された核種の放射能濃度 (Bq/g) の最大値と最小値の間には、6 桁の差があることを参考に、RI 協会から供給されている放射エネルギー又は RI 汚染物中に含まれる放射エネルギーが最大となる核種の放射エネルギーを 1 として他の核種の放射エネルギーを規格化し、相対比が 6 桁以内の核種を算出の対象核種として選定した。なお、クリアランスの対象物は、RI 使用施設等から発生する固体状の RI 汚染物であるため、希ガスの核種については選定の対象としないこととした。

(1) RI 協会から RI 使用者に供給されている主な核種

平成 16 年度から平成 20 年度に RI 協会が RI 使用者等に供給した非密封の研究用の核種及び医薬品用の核種^{※6}で、「アイソトープ等流通統計(2009)」に核種名が記載されている研究用の核種のうち 33 核種及び医薬品用の核種のうち 14 核種について、放射エネルギーが最大となる核種の放射エネルギーを 1 として、他の核種の放射エネルギーを規格化して相対比の評価を行った。その結果、選定した核種のうち、研究用の核種では H-3 の放射エネルギーが、また、医薬品用の核種では Tc-99m の放射エネルギーが

※6:「アイソトープ等流通統計(2009)」では、「放射性医薬品核種」と記載。

最大であるため、これらの核種で規格化すると、残りの 32 核種と 13 核種の全てが相対比 6 桁以内に含まれている。以上のことから、クリアランスレベルを算出する対象核種として、研究用の核種で 33 核種及び医薬品用の核種で 14 核種を選定した。(第 29 回放射線安全規制検討会 参考資料 3 参照) なお、ここで選定する 33 核種と 14 核種の放射エネルギーの合計は、RI 協会が国内の RI 利用者等に供給している全核種の総放射エネルギーの約 99.8%となっている。

(2) RI 協会において保管されている RI 汚染物に含まれる核種

RI 協会が国内の RI 使用施設等から集荷し、保管している RI 汚染物に含まれる 166 核種については、平成 20 年度現在の記録に基づいて、放射エネルギーが最大となる C-14 の放射エネルギーを 1 とし、他の核種の放射エネルギーの相対比が評価されている。この評価結果に基づき、放射エネルギーの相対比が 6 桁以内となる核種のうち、当該核種に汚染されたものを収納している容器の数が、現在保管されている容器全数量(約 34 万個)と比べて、非常に少ない 100 個以下の容器のみにしか含まれていない核種は、比較的容易に当該核種を区分することが可能であるため、これら極めて稀な核種(133 核種)を除き、残りの 33 核種を評価対象として選定した。

なお、半減期が 1 日未満の核種については短期間に放射エネルギーが減衰することから対象から除外した。

(3) 原子力機構における RI 汚染物に含まれる核種

原子力機構の RI 使用施設等において平成 16 年度から平成 20 年度までに使用及び保管されている RI 汚染物及び放射化物に含まれる 146 核種について、放射エネルギーが最大となる Ir-192 の放射エネルギーを 1 とし、他の核種の放射エネルギーの相対比が評価されている。この評価結果に基づき、相対比が 6 桁以内となる核種として 23 核種を評価対象として選定した。

なお、上記(2)と同様に、半減期が 1 日未満の核種については対象から除外した。

4. 2. 1. 2 放射化物に係る対象核種を選定

放射化物の生成の主要な原因が原子炉と同様に中性子によるものであることから、クリアランスレベルを算出する対象核種を選定については、基本的には原子炉で検討された核種を選定手順を参考にすることができると考えられる(第 29 回放射線安全規制検討会参考資料 4 参照)。さらに、選定においては、クリアランス WG が平成 18 年 6 月に取りまとめた平成 18 年度中間報告、及び「平成 17 年度 放射線発生装置、放射性同位元素使用施設及びウラン取扱施設等から発生する廃棄物のクリアランスレベル設定に係る基礎調査」(平成 18 年 3 月、日本原子力研究開発機構)(以下、「基礎調査報告書」という。)の計算結果も参考にした。

(1) 放射線発生装置の使用に伴う装置本体や周辺機器・建造物の放射化の考え方

平成 18 年度中間報告の中で、放射線発生装置の使用に伴う装置本体及びその周辺機器や建造物の放射化のメカニズムについて考察している。放射線発生装置の使用に伴って生じる発生装置本体や周辺建造物の放射化は、加速する荷電粒子と発生装置本体を構成する物質との相互作用によって生じる放射化(一次粒子による放射化)と、この相互作用に伴って発生する二次粒子(中性子)と発生装置本体や周辺機器、遮へいコンクリート、建家建造物等に含まれる構成元素との相互作用によって生じる放射化(中性子による放射化)に分けることができる。このため、基本的には原子炉施設のクリアランスレベルの算出に係る核種を選定手順を参考にすることも

のと考える。ただし、高エネルギーの放射線発生装置の場合、発生する中性子のエネルギーが高く、原子炉で見られる熱中性子捕獲反応※7、※8のみならず、速中性子反応※9も考慮に入れておく必要があるため、それぞれの材料毎に数核種の追加を行うこととした。

また、原子炉等規制法で原子炉施設に係るクリアランスレベルとして既に規定されている核種の中からも今回のクリアランスレベルの算出を行う対象核種として選定する必要があるものについて検討を行った。

(2) 放射線発生装置の使用に伴い生成する核種のうちクリアランスの対象となる核種について

平成18年度中間報告では、放射線発生装置及びその使用施設を構成する主要な材質は、鉄、ステンレス鋼、銅、アルミニウム、鉛及びコンクリートであることから、これらの材質に含まれる成分(元素)を基に、放射線発生装置の使用に伴い生成する核種の種類と放射能について検討が行われている。なお、施設の解体を行った場合の放射化物のクリアランスレベルの評価過程を考慮して冷却期間は1年、半減期は1月を超える核種を対象として検討が行われている。

評価対象核種の選定に当たっては、核種の生成量(D)及びRS-G-1.7の値(C)をもとに、得られる主要核種のD/Cの、最大値を与える核種の(D/C)maxに対する比 $[(D/C)/(D/C)max]$ を求め、これを指標に選定した。その結果、コンクリートについては平成18年度中間報告の表6に示された核種のうち、高エネ研の陽子加速器(12GeV陽子加速器施設)では $[(D/C)/(D/C)max]$ 値が4桁目まで、その他の発生装置では3桁目までに含まれる核種が評価対象として選定されている。コンクリート以外の材質については、基礎調査報告書の計算結果を参考にし、 $[(D/C)/(D/C)max]$ 値が4桁目までの核種が評価対象として選定されている。

上述の考え方に基づいて、放射化物に係るクリアランスレベルの算出を行う対象核種を選定することとした(第29回放射線安全規制検討会 参考資料4及び第20回クリアランスWG資料第20-2号参照)。さらに、高エネルギー粒子で照射された場合に検出される可能性があると考えられる核種についても評価対象の核種として追加することとした。

4. 2. 1. 3 クリアランスレベルを算出する対象核種の選定結果

上述の検討結果を踏まえ、表4.7に示すとおり、放射線障害防止法でクリアランスレベルを算出する核種として、RI汚染物に関連しては53核種、放射化物に関連しては37核種を選定することとした。

4. 2. 1. 4 対象核種の選定に係る留意事項

国内のRI使用施設では、今回RI汚染物に係る対象核種として選定した53核種以外の核種がこれまでに取り扱われている。また、今後新たな放射性同位元素の利用ニーズが想定される。さらに、放射線発生装置の高性能化や新しい機器構造材料を導入した放射線発生装置本体及び周辺構造物の放射化により、今回放射化物に係る対象核種として選定した37核種以外の核種の発生が考

※7:「熱中性子」は、周囲の媒質と熱平衡にある中性子[JIS Z 4001より]。例えば、カドミウムやホウ素などは熱中性子の吸収断面積が非常に大きく、熱中性子の吸収材として用いられる。

※8:「中性子捕獲」は、原子核による中性子の捕獲[JIS Z 4001より]。

※9:「速中性子」は、ある特定の値より大きい運動エネルギーをもつ中性子[JIS Z 4001より]。エネルギーの高い(高速で移動する)中性子で、核反応(例えば、核分裂)によって発生する中性子はこのエネルギー領域のものである。原子核と衝突を繰り返すことで減速し、熱外中性子、熱中性子となる。

えられる。これらを考慮すると、対象核種の選定に係る留意事項として、本検討で選定した対象核種以外の核種については、今後も必要に応じてクリアランスレベルの設定に係る検討を行うこととする。

4. 2. 2 クリアランスレベルの算出に係る評価経路について

RI 汚染物及び放射化物の埋設処分及び再利用・再使用に係る評価経路については、原子炉クリアランス報告書で示された評価経路及びその選定の考え方を参考にすることとした。なお、原子力安全委員会が実施した再評価報告書において、他の評価経路に比べて線量が十分小さいと判断された評価経路については、検討の対象とされていないことを踏まえ、今回のクリアランスレベルの算出においてもこれと同様に検討の対象としないこととした。

また、評価経路に関しては、RI 事業者の実態を踏まえ、埋設処分、再利用・再使用に係る評価経路に加えて、新たに RI 汚染物の焼却処理に係る評価経路について検討を行った。なお、埋設処分、再利用・再使用に係る評価経路に対する評価の考え方と同様に、他の評価経路に比べて線量が十分小さいと判断された評価経路については、焼却処理についても検討の対象としないこととした。

4. 2. 2. 1 埋設処分の評価経路

埋設処分に係る評価経路を図 4.1 に示すとともに、その選定の考え方を表 4.8 に示す。クリアランスレベルを算出する対象となる評価経路は、網羅的に選定された 125 経路の中から、他の経路と比較して線量が十分小さいと判断される経路、及び、他の経路の評価結果に含まれる経路を除いた 27 経路とした。

4. 2. 2. 2 再利用・再使用の評価経路

再利用・再使用に係る評価経路を図 4.2 に示すとともに、その選定の考え方を表 4.9 に示す。クリアランスレベルを算出する対象となる評価経路は、網羅的に選定された 78 経路の中から、埋設処分の評価経路も考慮したうえで、他の経路と比較して線量が十分小さいと判断される経路、及び、他の経路の評価結果に含まれる経路を除いた 28 経路とした。

また、放射化物の再使用の評価経路においては、真空ポンプ、電源、ケーブルを再使用される対象物とすることとした^{※10}。これらの対象物の中で被ばくの影響が最大となることが想定される電源が再使用される場合の評価を行うことにより、再使用の対象物についての評価を包含できるものとする。

4. 2. 2. 3 焼却処理の評価経路

今回のクリアランスレベルの算出では、原子炉等規制法で採用されている埋設処分、再利用・再使用に係る評価経路に加えて、RI 汚染物の焼却処理に係る評価経路について新たに検討を行っ

※10：放射線発生装置で使用されている電磁石については、クリアランス WG における検討の結果、現状では、管理区域における再使用に限定されることから、今回の再使用の評価経路の対象物とはしないこととした。

た。

その結果を図 4.3 に示すとともに、その選定の考え方を表 4.10 に示す。クリアランスレベルを算出する対象となる評価経路は、網羅的に選定された 73 経路の中から、埋設処分や再利用・再使用の評価経路も考慮したうえで、他の経路と比較して線量が十分小さいと判断される経路、及び他の経路の評価結果に包含される経路を除いた 31 経路とした。

なお、可燃性の RI 汚染物に対するクリアランスレベル以下であることの検認においては RI 汚染物等が収納された容器内での複数核種の混在、汚染の局在化、内容物の不均一性等により実効性のある合理的な測定方法等に課題が想定される。そのため、可燃性の RI 汚染物が事業所内で焼却処理された後に、その焼却灰をクリアランスの対象物として検認することも想定されるため、これらの行為も念頭において検討を行うこととした。

4. 2. 3 クリアランスレベルの算出に係る計算モデルについて

RI 汚染物及び放射化物の埋設処分及び再利用・再使用の評価経路に係るクリアランスレベルの算出に用いる計算モデルは、原子炉クリアランス報告書において使用された計算モデルに係る被ばく線量評価式を用いることを基本とし、さらに、再評価報告書において修正された被ばく線量評価式を用いるとともに、新たに追加された評価経路も考慮してクリアランスレベルの算出を行った。

クリアランスレベルの算出に用いた主な計算モデルについて、以下に示す。

また、焼却処理の評価経路に対して用いた計算モデルは、上述の埋設処分及び再利用・再使用の計算モデルに係る被ばく線量評価式を参考にするとともに、原子炉クリアランス報告書及び再評価報告書では検討されていない焼却処理及び溶融処理の評価経路に係る被ばく線量評価式を設定した。

4. 2. 3. 1 埋設処分の計算モデル

クリアランスレベルの算出に当たって、RI 汚染物及び放射化物をクリアランスした後に埋設処分する場合の評価経路に対して用いる線量評価式は、原子力安全委員会の原子炉クリアランス報告書において用いられた線量評価式を使用する。ただし、原子炉クリアランス報告書で取りまとめられた線量評価式については、原子力安全委員会の再評価報告書において見直しが行われ、以下の①～④に示すような線量評価式の修正及び被ばく形態（皮膚汚染による皮膚被ばく、直接経口摂取による内部被ばく）の追加が行われている。このため、RI 汚染物及び放射化物のクリアランスレベルの算出にあたっては再評価報告書において修正された線量評価式を用いた。

- ① 操業の評価経路と跡地利用の外部被ばく経路、内部被ばく経路に対して被ばく期間中の放射能の減衰を考慮
- ② 粉塵の吸入摂取による内部被ばくの線量評価式に、IAEA RS-G-1.7 の評価を参考とした吸入する粉塵への核種の濃縮係数を採用
- ③ 皮膚汚染による皮膚被ばくを考慮
- ④ 汚染物質の直接経口摂取による内部被ばくを考慮

以下に、埋設処分に係る評価経路に対して用いる主な線量評価式を示す。

【操業の評価経路】

この評価経路では、廃棄物そのものが評価上の線源となるので、被ばく評価にあたっては廃棄物中の核種の濃度をそのまま用いる。ただし、クリアランス対象廃棄物は「放射性廃棄物でない廃棄物」と混合されるものとする。

ここでは、クリアランス後の廃棄物の運搬作業員及び埋立作業員の被ばく線量を式(1)から式(4)を用いて評価する。これらの式において、線量換算係数については、線源の幾何形状を模擬し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により算出する。

(1) クリアランス後の廃棄物の運搬作業員（直接線・外部被ばく）

$$D_{ext}(i) = C_w(i) \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、

- $D_{ext}(i)$: 作業時における核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_w(i)$: 「放射性廃棄物でない廃棄物」とクリアランス対象廃棄物を混合した廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 $C_w(i) = C_{wo}(i) \cdot F_{wc}$
 $C_{wo}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 F_{wc} : 廃棄物中に占められるクリアランス対象廃棄物の割合 (—)
- S_o : 外部被ばくに対する遮へい係数 (—)
- t_o : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{ext}(i)$: 核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
 $\lambda_i = \ln 2 / T_{1/2}(i)$
 $T_{1/2}(i)$: 核種 i の半減期 (y) (以下同様)

t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

(2) クリアランス後の廃棄物の埋立作業 (直接線・外部被ばく)

$$D_{ext}(i) = C_w(i) \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、

- $D_{ext}(i)$: 作業時における核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_w(i)$: 「放射性廃棄物でない廃棄物」とクリアランス対象廃棄物を混合した廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 $C_w(i) = C_{wo}(i) \cdot F_{WC}$
 $C_{wo}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 F_{WC} : 廃棄物中に占められるクリアランス対象廃棄物の割合 (-)
- S_o : 外部被ばくに対する遮へい係数 (-)
- t_o : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{ext}(i)$: 核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
 $\lambda_i = \ln 2 / T_{1/2}(i)$
 $T_{1/2}(i)$: 核種 i の半減期 (y) (以下同様)
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

(3) クリアランス後の廃棄物の埋立作業 (粉塵吸入による内部被ばく)

$$D_{inh}(i) = C_w(i) \cdot C_{dust} \cdot f_{dust,inh} \cdot B_o \cdot t_o \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(3)$$

ここで、

- $D_{inh}(i)$: 作業時における核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_w(i)$: 「放射性廃棄物でない廃棄物」とクリアランス対象廃棄物を混合した廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 $C_w(i) = C_{wo}(i) \cdot F_{WC}$
 $C_{wo}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 F_{WC} : 廃棄物中に占められるクリアランス対象廃棄物の割合 (-)
- C_{dust} : 作業時の空气中粉塵濃度 (g/m^3)
- $f_{dust,inh}$: 吸入する粉塵への濃縮係数 (-)
- B_o : 作業者の呼吸量 (m^3/h)
- t_o : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{inh}(i)$: 核種 i の吸入被ばくに対する線量係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

(4) クリアランス後の廃棄物の埋立作業 (直接経口摂取による内部被ばく)

$$D_{direct}(i) = C_W(i) \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(4)$$

ここで、

- $D_{direct}(i)$: 作業員における核種*i*による直接経口摂取被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_W(i)$: 「放射性廃棄物でない廃棄物」とクリアランス対象廃棄物を混合した廃棄物中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
 $C_W(i) = C_{WO}(i) \cdot F_{WC}$
 $C_{WO}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
 F_{WC} : 廃棄物中に占められるクリアランス対象廃棄物の割合 (—)
- $f_{C,ing}$: 直接経口摂取における濃縮係数 (—)
- q : 汚染物質の摂取率 (g/h)
- t_o : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{ing}(i)$: 核種*i*の経口摂取の内部被ばく線量係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種*i*の崩壊定数 (y⁻¹)
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

【跡地利用の評価経路】

この評価経路では、廃棄物処分場に廃棄物が定置され、隙間に埋め戻しがなされ、さらに覆土された状態が出発点となる。跡地利用に関連しては、処分場跡地における建設作業に従事する者の被ばく、建設作業に伴って発生した残土の上で居住する者の被ばくを評価する。また、農耕作業員又は牧畜作業員による跡地の掘り返しに伴う被ばく、また、処分場跡地直上で栽培された農作物を摂取する者又はその農作物で飼育された畜産物を摂取する者の被ばくを評価する。

ここでは、特に、処分場跡地直上で栽培された農作物を摂取した者の被ばく線量を式(5)、(6)で評価する。なお、この経路は子どもについても評価する。

(1) 農作物摂取者

(1-1) 農作物中の核種の濃度

農作物栽培は処分場の跡地の直上で行われるとし、跡地における核種の量の減衰は崩壊によるもののみとする。核種は、根を経由して、農作物に移行するものとする。なお、農業用水には放射性物質が含まれていないものとする。

$$C_{vk}(i) = T_k(i) \cdot K_N \cdot C_W(i) \cdot \frac{W}{L_D \cdot W_D \cdot H_D \cdot \rho_D \cdot 10^6} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{dist}) \dots\dots\dots(5)$$

ここで、

- $C_{vk}(i)$: 農作物*k*中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
- $T_k(i)$: 土壌から農作物*k*への核種*i*の移行係数 (Bq/g-wet per Bq/g-dry)
- K_N : 根からの核種の吸収割合 (—)
- $C_W(i)$: 「放射性廃棄物でない廃棄物」とクリアランス対象廃棄物を混合した廃棄物中の核種*i*の濃度 (Bq/g)

廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 $C_W(i) = C_{WO}(i) \cdot F_{WC}$
 $C_{WO}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 F_{WC} : 廃棄物中に占められるクリアランス対象廃棄物の割合 (—)

W : 廃棄物の総量 (g)
 (クリアランス対象物量 + 放射性廃棄物でない廃棄物量)

L_D : 処分場の長さ (m)

W_D : 処分場の幅 (m)

H_D : 処分場の深さ (m)

ρ_D : 処分場嵩密度 (g/cm³)

λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y⁻¹)

t_{dist} : 処分場閉鎖後から評価時点までの期間 (y)

(1-2) 農作物摂取者 (経口摂取による内部被ばく) (成人、子ども)

$$D_{ing,v}(i) = \sum_k C_{vk}(i) \cdot 10^3 \cdot Q_k \cdot G_k \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{vk}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、

$D_{ing,v}(i)$: 農作物の摂取に伴う核種 i による内部被ばく線量 (μ Sv/y)

$C_{vk}(i)$: 農作物 k 中の核種 i の濃度 (Bq/g)

Q_k : 農作物 k の年間摂取量 (kg-wet/y)

G_k : 農作物 k の市場係数 (—)

t_{vk} : 農作物 k の輸送時間 (d)

$DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取の内部被ばく線量係数 (μ Sv/Bq)

λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y⁻¹)

t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

市場係数と輸送時間をそれぞれ保守的に 1 及び 0 と選定しているため、上式は以下のようになる。

$$D_{ing,v}(i) = \sum_k C_{vk}(i) \cdot 10^3 \cdot Q_k \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (6')$$

【地下水移行の評価経路】

この評価経路では、埋設された廃棄物から核種が浸透水中に漏出し、帯水層へ移行するものとする。この核種を含む地下水を飲用、灌漑、飼育及び養殖に利用することを考慮する。なお、各経路において被ばく線量が最大となる時点の線量を評価するものとする。

ここでは放射性物質を含む井戸水を養殖水として飼育された水産物を摂取した者に対する評価式を示し、養殖淡水産物摂取者の被ばく線量は(11)式で求める。なお、この経路は子どもについても評価する。

(1) 処分場からの漏出モデル

IAEA 技術文書「TECDOC-401」における放出係数モデルを用いた。

$$J(t,i) = \eta_i \cdot C_w(i) \cdot W \cdot \exp\{-(\lambda_i + \eta_i) \cdot t\} \dots\dots\dots(7)$$

ここで、

- $J(t,i)$: 時間 t における核種 i の漏出量 (Bq/y)
- η_i : 核種 i の漏出率 (y^{-1})

$$\eta_i = \frac{R_{IN}}{H_D} \cdot R_c(i)$$
 - R_{IN} : 浸透水量 (m/y)
 - $R_c(i)$: 放出係数 (-)
 - H_D : 処分場の深さ (m)
- $C_w(i)$: 「放射性廃棄物でない廃棄物」とクリアランス対象廃棄物を混合した廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 $C_w(i) = C_{wo}(i) \cdot F_{WC}$
 - $C_{wo}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 - F_{WC} : 廃棄物中に占められるクリアランス対象廃棄物の割合 (-)
- W : 廃棄物の総量 (g)
(クリアランス対象物量 + 放射性廃棄物でない廃棄物量)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})

(2) 帯水層中の核種の移動

処分場から漏洩した核種は、処分場と同一の幅を有する帯水層に流入するものとする。帯水層の厚さ (h_s) は一定で、土壌の空隙率、密度は一様とし、 x 方向のみに一定速度で流れているものとする。基礎式は次式で表される。

$$\frac{\partial}{\partial t} R_s(i) \cdot C_{GW}(x,t,i) = D_x \cdot \frac{\partial^2 C_{GW}(x,t,i)}{\partial x^2} - U_s \cdot \frac{\partial C_{GW}(x,t,i)}{\partial x} \dots\dots\dots(8)$$

$$- R_s(i) \cdot \lambda_i \cdot C_{GW}(x,t,i)$$

ここで、

- $C_{GW}(x,t,i)$: 地下水中の核種 i の濃度 (Bq/m³)
- U_s : 地下水流速 (m/y)
- $R_s(i)$: 帯水層遅延係数 (-)

$$R_s(i) = 1 + \frac{1 - f_s}{f_s} \cdot Kd_s(i) \cdot \rho_s$$
 - f_s : 帯水層空隙率 (-)
 - ρ_s : 帯水層土壌真密度 (g/cm³)
 - $Kd_s(i)$: 帯水層土壌に対する核種 i の分配係数 (mL/g)
- D_x : x 方向の分散係数 (m²/y)

$$D_x = D_{mx} |U_s| + D_d$$

- D_{mx} : 地下水流方向の分散長 (m)
 D_d : 分子拡散係数 ($3.15 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{y}$)
 λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})

なお、以降の計算では、(8)式の $-L_D \leq x \leq 0$ (L_D は処分場の長さ) の範囲における境界条件として、(7)式により計算した $J(t,i)$ を、処分場の幅 (W_D)、帯水層の厚さ (h_s) 及び地下水流速 (U_s) の積で割った値を与えた場合の解を使用する。

(3) 井戸水中の核種の濃度

井戸水中の核種濃度は、井戸の汲み上げによる周囲の核種を含まない地下水の流入を考慮した。

$$C_{WW}(t,i) = C_{GW}(x_w,t,i) \cdot R_w \dots\dots\dots (9)$$

ここで、

- $C_{WW}(t,i)$: 時間 t における井戸水の核種 i の濃度 (Bq/m^3)
 $C_{GW}(x_w,t,i)$: 地下水中の核種 i の濃度 (Bq/m^3)
 x_w : 処分場下流端から井戸までの距離 (m)
 R_w : 井戸水の混合割合 (－)

(4) 養殖淡水産物中の核種の濃度

養殖淡水産物中の核種の濃度は、養殖水中の核種の濃度に依存し、両者の濃度の間に平衡関係が成立しているものとする濃縮係数法によって求める。なお、養殖水中の核種の濃度は、井戸水中の核種の濃度と養殖淡水産物の地下水利用率を考慮した。

$$C_{Sm}(t,i) = C_{WW}(t,i) \cdot R_{SW} \cdot 10^{-3} \cdot T_{Sm}(i) \dots\dots\dots (10)$$

ここで、

- $C_{Sm}(t,i)$: 時間 t における養殖淡水産物 m 中の核種 i の濃度 (Bq/kg)
 $C_{WW}(t,i)$: 時間 t における井戸水の核種 i の濃度 (Bq/m^3)
 R_{SW} : 養殖淡水産物の地下水利用率 (－)
 $T_{Sm}(i)$: 核種 i の養殖淡水産物 m への濃縮係数 (L/kg)

(5) 養殖淡水産物摂取者（養殖淡水産物摂取による内部被ばく）（成人、子ども）

$$D_{ING}(t,i) = \sum_m C_{Sm}(t,i) \cdot Q_m \cdot G_m \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{Sm}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (11)$$

ここで、

- $D_{ING}(t,i)$: 時間 t における養殖淡水産物摂取による内部被ばく線量 ($\mu \text{ Sv}/\text{y}$)
 $C_{Sm}(t,i)$: 時間 t における養殖淡水産物 m 中の核種 i の濃度 (Bq/kg)
 Q_m : 養殖淡水産物 m の摂取量 (kg/y)
 G_m : 養殖淡水産物 m の市場係数 (－)

- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_{Sm} : 養殖淡水産物 m の輸送時間 (d)
- $DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取の内部被ばく線量係数 ($\mu Sv/Bq$)

市場係数と輸送時間をそれぞれ保守的に 1 及び 0 と選定しているので、上式は以下のような
 る。

$$D_{ING}(t,i) = \sum_m C_{Sm}(t,i) \cdot Q_m \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (11')$$

4. 2. 3. 2 再利用・再使用の計算モデル

RI 汚染物及び放射化物をクリアランスした後に再利用・再使用する場合の評価経路に係るクリアランスレベルの算出に用いる線量評価式は、埋設処分に係る評価と同様に原子炉クリアランス報告書において用いられた線量評価式を使用する。ただし、原子炉クリアランス報告書の線量評価式については、再評価報告書において見直しが行われ、以下の①～④に示すような線量評価式の変更及び被ばく形態の追加が行われている。そのため、今回行う RI 汚染物及び放射化物のクリアランスレベルの算出にあたっては再評価報告書において見直された線量評価式を用いる。

- ① 日常生活時と就業時の内部被ばく経路に対して被ばく期間中の放射能の減衰を考慮
- ② 粉塵の吸入摂取による内部被ばくの線量評価式に、IAEA RS-G-1.7 の評価を参考とした吸入する粉塵への核種の濃縮係数を採用
- ③ 就業時の金属再利用処理の運搬作業を除く経路とコンクリート再利用処理の経路について皮膚汚染による皮膚被ばくを考慮
- ④ 就業時の金属再利用処理の運搬作業を除く経路とコンクリート再利用処理の経路について、汚染物質の直接経口摂取による内部被ばくを考慮

以下に、再利用・再使用に係る評価経路に対して用いる主な線量評価式を示す。

【コンクリート再利用】

この評価経路は、コンクリートの再利用製品の使用に伴う外部被ばく線量と、再利用のための処理に伴う作業場周辺に居住する人の内部被ばく線量を評価する。また、この経路は子どもについても評価する。

ここでは、再利用コンクリート製品の使用に伴う外部被ばく線量の評価式を示す。

(1) 建築材料中の核種の濃度

$$C_{cp}(i) = C_{cw}(i) \cdot G_G \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \cdot F_{CC} \cdot F_{rc} \cdot \frac{F_g}{\rho_c} \dots\dots\dots (12)$$

ここで、

- $C_{cp}(i)$: 建築材料中の核種*i*の濃度(Bq/g)
- $C_{cw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象コンクリート中の核種*i*の濃度(Bq/g)
- G_G : 再生粗骨材の市場係数 (-)
- λ_i : 核種*i*の崩壊定数 (y^{-1})
- t_{pd} : クリアランスされた後から再利用されるまでの時間 (y)
- F_{CC} : 再利用されるコンクリート中のクリアランス対象物割合 (-)
- F_{rc} : 再生粗骨材使用割合 (-)
- F_g : 建築材料中に占める粗骨材の量 (g/cm^3)
- ρ_c : 建築材料の密度 (g/cm^3)

(2) 再利用コンクリート製品の使用に伴う外部被ばく

$$D_{ext,Cp}(i) = C_{Cp}(i) \cdot t_p \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(13)$$

ここで、

- $D_{ext,Cp}(i)$: 再利用コンクリート製品の使用に伴う核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Cp}(i)$: 建築材料中の核種 i の濃度(Bq/g)
- t_p : 再利用製品年間使用時間 (h/y)
- $DF_{ext}(i)$: 核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1 年)

【金属再利用処理】

この評価経路では、金属を再利用するために必要な処理を行う作業者の被ばく線量と再利用された物品を職業上で使用することによる被ばく線量について計算を行う。

ここでは、スクラップ輸送作業の積み下ろし作業者における汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量の評価式と、金属の熔融過程で生じたスラグをアスファルト用の粗骨材に用いた駐車場での労働者の外部被ばく線量の評価式を示す。

(1) スクラップ輸送作業 (積み下ろし) に伴う汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量

$$D_{direct}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F'_{MC} \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(14)$$

ここで、

- $D_{direct}(i)$: 作業における核種 i による直接経口摂取被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- F'_{MC} : 再利用される金属中のクリアランス対象物割合 (スクラップ輸送作業) (—)
- $f_{C,ing}$: 直接経口摂取経路における濃縮係数 (—)
- q : 汚染物質の摂取率 (g/h)
- t_o : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取に対する線量係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰時間 (y)

(2) スラグの再利用に伴う外部被ばく

金属の熔融過程で生じたスラグをアスファルト用の粗骨材に用いた駐車場での労働者の外部被ばく線量を求める。

(2-1) 金属の熔融過程で生じたスラグを粗骨材としたアスファルト中の核種 i の濃度

$$C_A(i) = C_{Ms}(i) \cdot F_{As} \dots\dots\dots (15)$$

ここで、

- $C_A(i)$: アスファルト中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
- $C_{Ms}(i)$: スラグ中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
- F_{As} : アスファルトへのスラグの混合割合 (－)

(2-2) 金属の溶融過程で生じたスラグを粗骨材としたアスファルトを用いた駐車場での労働者の外部被ばく

$$D_{ext,O}(i) = C_A(i) \cdot t_u \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (16)$$

ここで、

- $D_{ext,O}(i)$: 作業時における核種*i*による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_A(i)$: アスファルト中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
- t_u : 年間作業時間(h/y)
- $DF_{ext}(i)$: 核種*i*の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
- λ_i : 核種*i*の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

【金属再利用用途】

この評価経路では、スクラップ作業場周辺に居住する周辺居住者が、工場から排出される粉塵によって汚染された農作物(葉菜)を摂取することによる内部被ばく線量の評価式を示す。周辺居住者の農作物摂取による内部被ばく線量については子どもについても評価する。

(1) スクラップ作業場からの排気による周辺居住者の経口摂取による内部被ばく線量

(1-1)溶融作業時に発生する粉塵中の核種の濃度

$$C_{Md}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_d(i) \cdot G_M \cdot C_{fd} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \dots\dots\dots (17)$$

ここで、

- $C_{Md}(i)$: 粉塵中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
- F_{MC} : 再利用される金属中のクリアランス対象物割合 (スクラップ輸送作業以外) (－)
- $T_d(i)$: 核種*i*が溶融過程で粉塵中に移行する割合 (－)
- G_M : 再利用金属の市場係数 (－)
- C_{fd} : 粉塵への核種の見かけ上の濃縮係数 (－)
- λ_i : 核種*i*の崩壊定数 (y^{-1})
- t_{pd} : クリアランスされた後から再利用されるまでの時間 (y) (0年)

(1-2) 農作物中の核種の濃度

$$C_S(i) = \left\{ V_g \cdot f_R \cdot C_{Md}(i) \cdot f_s \cdot f_r \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot T_o)}{\lambda_i} \right\} / P \dots\dots\dots(18)$$

ここで、

- $C_S(i)$: 核種 i の土壤中濃度 (Bq/kg)
- V_g : 沈着速度 (m/y)
- f_R : スクラップ作業場周辺の空气中粉塵濃度 (g/m^3)
- $C_{Md}(i)$: 粉塵中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- f_s : 粉塵の地表面への沈着割合 (—)
- f_r : 沈着した核種のうち残存する割合 (—)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- T_o : 核種の放出期間 (y)
- P : 土壌実効表面密度 (kg/m^2)

(1-2) 農作物中の核種の濃度

$$C_{Vk}(i) = \left[C_S(i) \cdot T_k(i) + V_g \cdot f_R \cdot C_{Md}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_{Bk}} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_t \cdot f_d \dots\dots\dots(19)$$

ここで、

- $C_{Vk}(i)$: 農作物 k 中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
- $C_S(i)$: 核種 i の土壤中濃度 (Bq/kg)
- $T_k(i)$: 土壌から農作物 k への核種 i の移行係数
(Bq/kg-農作物 per Bq/kg-土壌)
- V_g : 沈着速度 (m/y)
- f_R : スクラップ作業場周辺の空气中粉塵濃度 (g/m^3)
- $C_{Md}(i)$: 粉塵中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- f_v : 核種の農作物表面への沈着割合 (—)
- Y_{Bk} : 農作物 k の栽培密度 (kg/m^2)
- λ_{ei} : 沈着した核種 i の実効減衰係数 (y^{-1})
 $\lambda_{ei} = \lambda_i + \lambda_{iw}$
ただし、
 λ_{iw} : weathering 効果による植物表面沈着核種の除去係数 (y^{-1})
- T_E : 農作物の成育時間 (y)
- f_t : 農作物の栽培期間年間比 (—)
- f_d : 調理前洗浄等による粒子状物質の残留比 (—)

(1-3) 農作物を摂取することによる内部被ばく線量

$$D_{ing,v}(i) = \sum_k C_{vk}(i) \cdot Q_k \cdot G_k \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{vk}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots(20)$$

ここで、

- $D_{ing,v}(i)$: 農作物の経口摂取に伴う核種*i*による内部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{vk}(i)$: 農作物*k*中における核種*i*の濃度 (Bq/kg)
- Q_k : 農作物*k*の年間摂取量 (kg/y)
- G_k : 農作物*k*の市場係数 (—)
- λ_i : 核種*i*の崩壊定数 (y^{-1})
- t_{vk} : 農作物*k*の輸送時間 (d)
- $DF_{ing}(i)$: 核種*i*の経口摂取に対する線量係数 (μ Sv/Bq)

なお、市場係数と輸送時間は、埋設処分に係る線量計算と同様に、それぞれ保守的に1及び0と選定すると、上式は以下のようなになる。

$$D_{ing,v}(i) = \sum_k C_{vk}(i) \cdot Q_k \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots(20')$$

【コンクリート再利用処理】

この評価経路では、コンクリートを再利用するために必要な処理を行う作業者の被ばく線量について計算を行う。

ここでは、コンクリートの再利用処理を行う作業者の外部被ばく線量及び皮膚被ばく線量の評価式を(21)式と(22)式に示す。なお、(21)式において外部被ばくに対する線量換算係数は、再利用されるコンクリート（線源）の形状を作業形態に応じてモデル化し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により計算する。

(1) コンクリートを再利用する際の作業に伴う外部被ばく線量

$$D_{ext,o}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_B \cdot F_{CC} \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(21)$$

ここで、

- $D_{ext,o}(i)$: 作業時における核種*i*による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Cw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象コンクリート中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
- G_B : 再利用コンクリート塊の市場係数 (—)
- F_{CC} : 再利用されるコンクリート中のクリアランス対象物割合 (—)
- S_o : 作業時の外部被ばくに対する遮へい係数 (—)
- t_o : 作業に伴う年間被ばく時間 (h/y)
- $DF_{ext}(i)$: 核種*i*の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
- λ_i : 核種*i*の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

(2) コンクリートを再利用する際の作業における皮膚汚染による作業者の皮膚被ばく線量

$$D_{skin}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_B \cdot F_{CC} \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_o \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(22)$$

ここで、

- $D_{skin}(i)$: 核種 i による皮膚汚染による皮膚被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Cw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象コンクリート中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- G_B : 再利用コンクリート塊の市場係数 (—)
- F_{CC} : 再利用されるコンクリート中のクリアランス対象物割合 (—)
- L_{dust} : 皮膚に堆積した粉塵の厚さ (cm)
- $f_{dust,skin}$: 皮膚被ばく経路における濃縮係数 (—)
- ρ : 皮膚に堆積した粉塵の密度 (g/cm^3)
- t_o : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{skin}(i)$: 核種 i の皮膚汚染による皮膚被ばく線量換算係数
(β 線、 γ 線に対する換算係数の和) (μ Sv/h per Bq/cm²)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1 年)

【金属再使用】

この評価経路では、放射線発生装置使用施設で使用していた電源等を別事業所等で再使用する際の被ばく線量を評価する。

ここでは、再使用品使用時の外部被ばく線量の評価式を(23)式に示す。

(1) 再使用に伴う外部被ばく

$$D_{ext,u}(i) = C_{Mr}(i) \cdot t_u \cdot DF'_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(23)$$

ここで、

- $D_{ext,u}(i)$: 再使用に伴う核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Mr}(i)$: 再使用品の核種 i の濃度 (Bq/g)
- t_u : 年間作業時間 (h/y)
- $DF'_{ext}(i)$: 再使用品からの核種 i の外部被ばく線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1 年)

4. 2. 3. 3 焼却処理の計算モデル

RI 汚染物のうち、可燃物等としてクリアランスを行った場合、及び可燃物等を焼却したのちに焼却灰としてクリアランスを行った場合に想定される評価経路に対するクリアランスレベルの算出に用いた主な線量評価式を以下に示す。

【可燃物の運搬作業に伴う評価経路】

この評価経路では、RI 汚染物となる可燃物等が線源となるので、被ばく評価にあたっては RI 汚染物中に含まれる核種の濃度をそのまま用いる。ただし、クリアランス対象物は、「放射性廃棄物でない廃棄物」と混合することも想定する。

ここでは、クリアランス後の可燃物の運搬作業者の被ばく線量を式(24)を用いて評価する。これらの式において、線量換算係数については、線源の幾何形状を模擬し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により算出する。

(1) クリアランス後の可燃物の運搬作業（直接線・外部被ばく）

$$D_{ext}(i) = C_w(i) \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(24)$$

ここで、

- $D_{ext}(i)$: 作業時における核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_w(i)$: 「放射性廃棄物でない廃棄物」とクリアランス対象廃棄物を混合した廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 $C_w(i) = C_{wo}(i) \cdot F_{wc}$
 $C_{wo}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 F_{wc} : 廃棄物中に占められるクリアランス対象廃棄物の割合 (-)
- S_o : 外部被ばくに対する遮へい係数 (-)
- t_o : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{ext}(i)$: 核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
 $\lambda_i = \ln 2 / T_{1/2}(i)$
 $T_{1/2}(i)$: 核種 i の半減期 (y) (以下同様)
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

【焼却処理施設の運転作業に伴う評価経路】

この評価経路では、焼却処理施設の補修作業者が、焼却炉壁の表面に付着した核種からの外部被ばく、焼却灰を吸入することによる内部被ばく、焼却灰を直接経口摂取することによる内部被ばく及び皮膚被ばくについて被ばく線量と、焼却炉から排出された核種が付着した農作物(飼料)を摂取した畜産物を摂取することによる被ばく線量を評価する。

ここでは、特に、焼却炉の補修作業者の外部被ばく及び粉塵吸入による内部被ばくに係る線量評価式を式(26)及び式(28)に示す。

(1) 焼却処理施設の補修作業（直接線・外部被ばく）

焼却炉の補修作業の外部被ばく線量は、焼却炉壁の表面汚染密度に基づいて求める。

(1-1) 焼却炉壁の表面汚染密度

焼却炉壁の表面汚染密度の評価式は、炉壁に付着した焼却灰の放射能による作業員の被ばく線量を評価するうえで必要な、焼却炉壁の核種の表面汚染密度を求めるための式であり、以下の点を考慮している。

- ・「クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度」と「1年間に焼却処理されるクリアランス対象廃棄物（可燃物等）の重量」から、焼却炉に1年間に投入される核種量を求める。
- ・1 から「核種 i が排気に移行する割合」を引いた値を乗じることにより、焼却過程で焼却灰に残存する核種の放射エネルギーを求める。
- ・「焼却炉壁に付着する割合」を乗じることにより、焼却炉から焼却灰を取り出した後に、焼却炉壁に付着している焼却灰中の核種の放射エネルギーを求める。
- ・上記の核種の放射エネルギーを、焼却炉壁の表面積で割ることにより、焼却炉壁の表面汚染密度を計算する。

$$C_I(i) = \frac{C_{WO}(i) \cdot W_I \cdot 10^3 \cdot (1 - f_I(i)) \cdot f_{dw}}{S \cdot 10^4} \dots\dots\dots (25)$$

ここで、

- $C_I(i)$: 焼却炉壁の核種 i の表面汚染密度 (Bq/cm²)
- $C_{WO}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- W_I : 1年間に焼却処理されるクリアランス対象廃棄物の重量 (kg)
- $f_I(i)$: 核種 i が排気に移行する割合 (—)
- f_{dw} : 焼却炉壁に付着する割合 (—)
- S : 焼却炉壁の表面積 (m²)

(1-2) 焼却炉の補修作業（直接線・外部被ばく）

$$D_{ext}(i) = C_I(i) \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (26)$$

ここで、

- $D_{ext}(i)$: 作業時における核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_I(i)$: 焼却炉壁の核種 i の表面汚染密度 (Bq/cm²)
- S_o : 外部被ばくに対する遮へい係数 (—)
- t_o : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{ext}(i)$: 核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/cm²)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y⁻¹)
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

(2) 焼却炉の補修作業（粉塵吸入による内部被ばく）

焼却炉の補修作業に従事する作業員の粉塵吸入による内部被ばく線量は、焼却灰中の核種濃度

に基づいて求める。

(2-1) 焼却灰中の核種濃度

焼却灰中の核種濃度の評価式は、焼却処理により発生する焼却灰に含まれる核種の放射能濃度を求めるものであり、以下の点を考慮している。

- ・焼却炉に投入される過程での他の廃棄物（対象施設以外から持ち込まれた可燃物等）との混合を考慮する。
- ・焼却処理で減重比（可燃物が灰となった際に重量が減少する割合）を考慮する。
- ・1 から「核種 i が排気に移行する割合」を引いた値を乗じることにより、焼却過程で焼却灰に残存する割合を考慮する。

$$C_A(i) = C_w(i) \cdot V_I \cdot F_{CI} \cdot (1 - f_i(i)) \dots\dots\dots (27)$$

ここで、

- $C_A(i)$: 焼却灰中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $C_w(i)$: 「放射性廃棄物でない廃棄物」とクリアランス対象廃棄物を混合した廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 $C_w(i) = C_{wo}(i) \cdot F_{WC}$
 $C_{wo}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 F_{WC} : 廃棄物中に占められるクリアランス対象廃棄物の割合 (—)
- V_I : 焼却処理に伴う廃棄物の減重比 (—)
- F_{CI} : 焼却炉での他の廃棄物との混合割合 (—)
- $f_i(i)$: 核種 i が排気に移行する割合 (—)

(2-2) 焼却炉の補修作業者（粉塵吸入による内部被ばく）

$$D_{inh}(i) = C_A(i) \cdot C_{dust} \cdot f_{dust,inh} \cdot B_o \cdot t_o \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (28)$$

ここで、

- $D_{inh}(i)$: 作業時における核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_A(i)$: 焼却灰中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- C_{dust} : 作業時の空气中粉塵濃度 (g/m^3)
- $f_{dust,inh}$: 吸入する粉塵への濃縮係数 (—)
- B_o : 作業者の呼吸量 (m^3/h)
- t_o : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{inh}(i)$: 核種 i の吸入被ばくに対する線量係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

(3) 畜産物摂取者（経口摂取による内部被ばく）

農業用水及び飼育に使われる用水には核種が含まれていないものとする。この経路は子どもについても評価する。

(3-1) 空気中の核種濃度

空気中の核種濃度は次式により求める。この評価式は、廃棄物中の核種が焼却処理により排気に移行し、煙突から大気中に放出された時の大気中の放射能濃度を考慮するものであり、以下の点を考慮している。

- ・焼却炉に投入される過程での他の廃棄物（対象施設以外から持ち込まれた可燃物等）との混合を考慮する。
- ・「核種 i が排気に移行する割合」を乗じることにより、焼却過程で排気中に移行する割合を考慮する。
- ・「焼却処理能力」を乗じることにより、単位時間あたりに大気中に放出する核種量を求める。
- ・単位時間あたりに放出される核種量 (Bq/s) と、線量影響を及ぼす地点における空気中の濃度 (Bq/m³) の比である「大気中での分散係数」を乗じることにより、大気中における分散過程を考慮する。

$$C_{Air}(i) = \chi \cdot f_I(i) \cdot R \cdot F_{CI} \cdot C_W(i) \dots\dots\dots (29)$$

ここで、

- $C_{Air}(i)$: 空気中の核種 i の濃度 (Bq/m³)
- χ : 大気中での分散係数 (s/m³)
- $f_I(i)$: 核種 i が排気に移行する割合 (—)
- R : 焼却処理能力 (g/s)
- F_{CI} : 焼却炉での他の廃棄物との混合割合 (—)
- $C_W(i)$: 「放射性廃棄物でない廃棄物」とクリアランス対象廃棄物を混合した廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 $C_W(i) = C_{WO}(i) \cdot F_{WC}$
 $C_{WO}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 F_{WC} : 廃棄物中に占められるクリアランス対象廃棄物の割合 (—)

(3-2) 土壌中の核種濃度

$$C_S(i) = \left\{ V_g \cdot C_{Air}(i) \cdot f_s \cdot f_r \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot T_o)}{\lambda_i} \right\} / P \dots\dots\dots (30)$$

ここで、

- $C_S(i)$: 核種 i の土壌中の濃度 (Bq/kg)
- V_g : 沈着速度 (m/y)
- $C_{Air}(i)$: 空気中の核種 i の濃度 (Bq/m³)
- f_s : 粉塵の地表面への沈着割合 (—)
- f_r : 沈着した核種のうち残存する割合 (—)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y⁻¹)
- T_o : 核種の放出期間 (y)
- P : 土壌実効表面密度 (kg/m²)

(3-3) 飼料中の核種濃度

$$C_{VF}(i) = \left[C_S(i) \cdot T_F(i) + V_g \cdot C_{Air}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_B} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_t \dots\dots\dots(31)$$

ここで、

- $C_{VF}(i)$: 農作物（飼料）中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
- $C_S(i)$: 核種 i の土壌中の濃度 (Bq/kg)
- $T_F(i)$: 土壌から農作物への核種 i の移行係数 (Bq/kg-農作物 per Bq/kg-土壌)
- V_g : 沈着速度 (m/y)
- $C_{Air}(i)$: 空気中の核種 i の濃度 (Bq/m³)
- f_v : 核種の農作物表面への沈着割合 (—)
- Y_B : 農作物の栽培密度 (kg/m²)
- λ_{ei} : 沈着した核種 i の実効減衰係数 (y⁻¹)
 $\lambda_{ei} = \lambda_i + \lambda_{iw}$
ただし、
 λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y⁻¹)
 λ_{iw} : weathering 効果による植物表面沈着核種の除去係数 (y⁻¹)
- T_E : 農作物の生育期間 (y)
- f_t : 農作物の栽培期間年間比 (—)

(3-4) 畜産物中の核種濃度

農作物（飼料）を摂取することによる畜産物中の核種の濃度の計算では、農業用水及び飼育に使われる用水には核種が含まれていないものとする。畜産物の種類としては鶏卵、牛乳、牛肉、豚肉及び鶏肉を想定する。

$$C_{Fn}(i) = T_n(i) \cdot M_F \cdot C_{VF}(i) \cdot Q_{vn} \dots\dots\dots(32)$$

ここで、

- $C_{Fn}(i)$: 畜産物 n 中の核種 i の濃度 (Bq/kg または Bq/L)
- $T_n(i)$: 飼料から畜産物 n 中への核種 i の移行係数 (d/kg または d/L)
- M_F : 核種を含む飼料の混合割合 (—)
- $C_{VF}(i)$: 飼料中の核種 i の濃度 (Bq/kg)
- Q_{vn} : 畜産物 n を生産する家畜の飼料摂取量 (kg-dry/d)

(3-5) 焼却炉周辺の畜産物摂取者（経口摂取による内部被ばく）

$$D_{ing,F}(i) = \sum_n C_{Fn}(i) \cdot Q_n \cdot G_n \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{Fn}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots(33)$$

ここで、

- $D_{ing,F}(i)$: 畜産物摂取に伴う核種 i による内部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Fn}(i)$: 畜産物 n 中の核種 i の濃度 (Bq/kg または Bq/L)
- Q_n : 畜産物 n の摂取量 (kg/y または L/y)

- G_n : 畜産物 n の市場係数
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_{Fn} : 畜産物 n の輸送時間 (d)
- $D_{ing,F}(i)$: 核種 i の経口摂取の内部被ばく線量係数 (μ Sv/Bq)

【焼却灰の埋立作業に伴う評価経路】

この評価経路では、可燃物等がクリアランスされた後に焼却処理されて生成した焼却灰、若しくは可燃物等が焼却処理された後にクリアランスされた焼却灰を埋設処分場に埋設するまでの作業（積み下ろし作業、運搬作業、埋立作業）の被ばく線量を評価する。

(1) 焼却灰中の核種濃度

可燃物等のクリアランスを想定した場合、焼却灰中の核種濃度は、式(34)により求める。

$$C_A(i) = C_W(i) \cdot V_I \cdot F_{Cl} \cdot (1 - f_I(i)) \dots\dots\dots (34)$$

ここで、

- $C_A(i)$: 焼却灰中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $C_W(i)$: 「放射性廃棄物でない廃棄物」とクリアランス対象廃棄物を混合した廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 $C_W(i) = C_{wo}(i) \cdot F_{WC}$
 $C_{wo}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 F_{WC} : 廃棄物中に占められるクリアランス対象廃棄物の割合 (—)
- V_I : 焼却処理に伴う廃棄物の減重比 (—)
- F_{Cl} : 焼却炉での他の廃棄物との混合割合 (—)
- $f_I(i)$: 核種 i が排気に移行する割合 (—)

一方、焼却灰のクリアランスを想定した場合、焼却灰中の核種濃度は次式により求める。

$$C_A(i) = C_W(i) \dots\dots\dots (34')$$

ここで、

- $C_A(i)$: 焼却灰中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $C_W(i)$: 「放射性廃棄物でない廃棄物」とクリアランス対象廃棄物を混合した廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 $C_W(i) = C_{wo}(i) \cdot F_{WC}$
 $C_{wo}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 F_{WC} : 廃棄物中に占められるクリアランス対象廃棄物の割合 (—)

(2) 焼却灰の積み下ろし作業及び埋立作業（直接経口による内部被ばく）

$$D_{direct}(i) = C_A(i) \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_O \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (35)$$

ここで、

- $D_{direct}(i)$: 作業時における核種 i による直接経口摂取被ばく線量 (μ Sv/y)

$C_A(i)$	:	焼却灰中の核種 i の濃度 (Bq/g)
$f_{C,ing}$	:	直接経口摂取における濃縮係数 (—)
q	:	汚染物質の摂取率 (g/h)
t_o	:	年間作業時間 (h/y)
$DF_{ing}(i)$	:	核種 i の経口摂取の内部被ばく線量係数 (μ Sv/Bq)
λ_i	:	核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
t_i	:	被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

【焼却灰の溶融処理施設の運転に伴う評価経路】

この評価経路では、溶融炉からの排気に伴い放出された核種が付着した農作物及びその農作物を飼料とする畜産物を摂取した溶融炉周辺居住者の内部被ばく線量評価式を示す。これらの経路は子どもについても評価する。

(1) 溶融炉周辺の農作物摂取者（経口摂取による内部被ばく）

(1-1) 焼却灰中の核種濃度

$$C_A(i) = C_w(i) \cdot V_I \cdot F_{CI} \cdot (1 - f_I(i)) \dots\dots\dots (36)$$

ここで、

$C_A(i)$	:	焼却灰中の核種 i の濃度 (Bq/g)
$C_w(i)$	:	「放射性廃棄物でない廃棄物」とクリアランス対象廃棄物を混合した廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
		$C_w(i) = C_{wo}(i) \cdot F_{WC}$
		$C_{wo}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
		F_{WC} : 廃棄物中に占められるクリアランス対象廃棄物の割合 (—)
V_I	:	焼却処理に伴う廃棄物の減重比 (—)
F_{CI}	:	焼却炉での他の廃棄物との混合割合 (—)
$f_I(i)$	:	核種 i が排気に移行する割合 (—)

(1-2) 空気中の核種濃度

$$C_{Air}(i) = \chi \cdot f_{AM}(i) \cdot R_{AM} \cdot F_{AM} \cdot C_A(i) \dots\dots\dots (37)$$

ここで、

$C_{Air}(i)$	:	空気中の核種 i の濃度 (Bq/m ³)
χ	:	大気中での分散係数 (s/m ³)
$f_{AM}(i)$	:	溶融処理において核種 i が排気に移行する割合 (—)
R_{AM}	:	溶融処理能力 (g/s)
F_{AM}	:	溶融炉での他の焼却灰との混合割合 (—)
$C_A(i)$	:	焼却灰中の核種 i の濃度 (Bq/g)

(1-3) 土壌中の核種濃度

$$C_S(i) = \left\{ V_g \cdot C_{Air}(i) \cdot f_s \cdot f_r \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot T_o)}{\lambda_i} \right\} / P \dots\dots\dots(38)$$

ここで、

- $C_S(i)$: 核種 i の土壌中の濃度 (Bq/kg)
- V_g : 沈着速度 (m/y)
- $C_{Air}(i)$: 空気中の核種 i の濃度 (Bq/m³)
- f_s : 粉塵の地表面への沈着割合 (—)
- f_r : 沈着した核種のうち残存する割合 (—)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y⁻¹)
- T_o : 核種の放出期間 (y)
- P : 土壌実効表面密度 (kg/m²)

(1-4) 農作物中の核種濃度

$$C_V(i) = \left[C_S(i) \cdot T_V(i) + V_g \cdot C_{Air}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_B} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_t \cdot f_d \dots\dots\dots(39)$$

ここで、

- $C_V(i)$: 農作物 (葉菜) 中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
- $C_S(i)$: 核種 i の土壌中の濃度 (Bq/kg)
- $T_V(i)$: 土壌から農作物 (葉菜) への核種 i の移行係数 (Bq/kg-農作物 per Bq/kg-土壌)
- V_g : 沈着速度 (m/y)
- $C_{Air}(i)$: 空気中の核種 i の濃度 (Bq/m³)
- f_v : 核種の農作物表面への沈着割合 (—)
- Y_B : 農作物 (葉菜) の栽培密度 (kg/m²)
- λ_{ei} : 沈着した核種 i の実効減衰係数 (y⁻¹)
 $\lambda_{ei} = \lambda_i + \lambda_{iw}$
 ただし、
 λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y⁻¹)
 λ_{iw} : weathering 効果による植物表面沈着核種の除去係数 (y⁻¹)
- T_E : 農作物の生育期間 (y)
- f_t : 農作物の栽培期間年間比 (—)
- f_d : 調理前洗浄等による粒子状物質の残留比 (—)

(1-5) 溶融炉周辺の農作物摂取者 (経口摂取による内部被ばく)

$$D_{ing}(i) = C_V(i) \cdot Q_V \cdot G_V \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_v}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots(40)$$

ここで、

- $D_{ing}(i)$: 農作物摂取に伴う核種 i の経口摂取による内部被ばく線量 (μ Sv/y)

- $C_V(i)$: 農作物（葉菜）中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
- Q_V : 農作物（葉菜）の年間摂取量 (kg/y)
- G_V : 農作物（葉菜）の市場係数 (—)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_v : 農作物（葉菜）の輸送時間 (d)
- $DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取の内部被ばく線量係数 (μ Sv/Bq)

(2) 溶融炉周辺の畜産物摂取者（経口摂取による内部被ばく）

溶融炉から排出された核種が付着した農作物（飼料）を摂取した畜産物を摂取することによる被ばく線量を評価する。

(2-1) 空気中の核種濃度

空気中の核種濃度の評価式は、溶融処理により排気に移行し、煙突から大気中に放出された時の大気中の放射能濃度を考慮するものである。

$$C_{Air}(i) = \chi \cdot f_{AM}(i) \cdot R_{AM} \cdot F_{AM} \cdot C_A(i) \dots\dots\dots(41)$$

ここで、

- $C_{Air}(i)$: 空気中の核種 i の濃度 (Bq/m³)
- χ : 大気中での分散係数 (s/m³)
- $f_{AM}(i)$: 溶融処理において核種 i が排気に移行する割合 (—)
- R_{AM} : 溶融処理能力 (g/s)
- F_{AM} : 溶融炉での他の焼却灰との混合割合 (—)
- $C_A(i)$: 焼却灰中の核種 i の濃度 (Bq/g)

(2-2) 飼料中の核種濃度

$$C_{VF}(i) = \left[C_S(i) \cdot T_F(i) + V_g \cdot C_{Air}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_B} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_t \dots\dots\dots(42)$$

ここで、

- $C_{VF}(i)$: 農作物（飼料）中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
 - $C_S(i)$: 核種 i の土壌中の濃度 (Bq/kg)
 - $T_F(i)$: 土壌から農作物への核種 i の移行係数 (Bq/kg-農作物 per Bq/kg-土壌)
 - V_g : 沈着速度 (m/y)
 - $C_{Air}(i)$: 空気中の核種 i の濃度 (Bq/m³)
 - f_v : 核種の農作物表面への沈着割合 (—)
 - Y_B : 農作物の栽培密度 (kg/m²)
 - λ_{ei} : 沈着した核種 i の実効減衰係数 (y^{-1})
- $$\lambda_{ei} = \lambda_i + \lambda_{iw}$$

ただし、
 λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
 λ_{iw} : weathering 効果による植物表面沈着核種の除去係数 (y^{-1})
 T_E : 農作物の生育期間 (y)
 f_t : 農作物の栽培期間年間比 (—)

(2-3) 畜産物中の核種濃度

$$C_{Fn}(i) = T_n(i) \cdot M_F \cdot C_{VF}(i) \cdot Q_{vn} \dots\dots\dots (43)$$

ここで、

$C_{Fn}(i)$: 畜産物 n 中の核種 i の濃度 (Bq/kg 又は Bq/L)
 $T_n(i)$: 飼料から畜産物 n 中への核種 i の移行係数 (d/kg 又は d/L)
 M_F : 核種を含む飼料の混合割合 (—)
 $C_{VF}(i)$: 飼料中の核種 i の濃度 (Bq/kg)
 Q_{vn} : 畜産物 n を生産する家畜の飼料摂取量 (kg-dry/d)

(2-4) 溶融炉周辺の畜産物摂取者（経口摂取による内部被ばく）

$$D_{ing,F}(i) = \sum_n C_{Fn}(i) \cdot Q_n \cdot G_n \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{Fn}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (44)$$

ここで、

$D_{ing,F}(i)$: 畜産物摂取に伴う核種 i による内部被ばく線量 (μ Sv/y)
 $C_{Fn}(i)$: 畜産物 n 中の核種 i の濃度 (Bq/kg 又は Bq/L)
 Q_n : 畜産物 n の摂取量 (kg/y 又は L/y)
 G_n : 畜産物 n の市場係数 (—)
 λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
 $\lambda_i = \ln 2 / T_{1/2}(i)$
 $T_{1/2}(i)$: 核種 i の半減期 (y)
 t_{Fn} : 畜産物 n の輸送時間 (d)
 $DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取の内部被ばく線量換算係数 (μ Sv/Bq)

市場係数と輸送時間をそれぞれ保守的に 1 及び 0 と選定しているため、上式は以下のような形式になる。

$$D_{ing,F}(i) = \sum_n C_{Fn}(i) \cdot Q_n \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (44')$$

【溶融固化物の埋立作業に伴う評価経路】

この評価経路では、焼却灰の溶融処理により生成した溶融固化物を埋設処分場へ埋設するまでの作業員（積み下ろし作業員、運搬作業員）の被ばく線量を評価する。

(1) 溶融固化物中の核種濃度

$$C_{AM}(i) = C_A(i) \cdot V_{AM} \cdot F_{AM} \cdot (1 - f_{AM}(i)) \dots\dots\dots(45)$$

ここで、

- $C_{AM}(i)$: 溶融固化物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $C_A(i)$: 焼却灰中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- V_{AM} : 溶融処理に伴う廃棄物の減重比 (－)
- F_{AM} : 溶融炉での他の焼却灰との混合割合 (－)
- $f_{AM}(i)$: 溶融処理において核種 i が排気に移行する割合 (－)

(2) 溶融固化物の積み下ろし作業員及び運搬作業員 (直接線・外部被ばく)

$$D_{ext}(i) = C_{AM}(i) \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(46)$$

ここで、

- $D_{ext}(i)$: 作業時における核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{AM}(i)$: 溶融固化物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- S_o : 外部被ばくに対する遮へい係数 (－)
- t_o : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{ext}(i)$: 核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

4. 2. 4 クリアランスレベルの算出に用いる評価パラメータについて

放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの算出に用いる評価パラメータは、基本的には、原子力安全委員会がとりまとめた原子炉クリアランス報告書及び再評価報告書等で使用された値を用いることとしており、今回のクリアランスレベルの算出で使用した元素及び核種に依存しない評価パラメータを以下のとおり各表に示す。ただし、パラメータの中で、クリアランス対象物の物量に係る評価パラメータについては、今回の RI 汚染物や放射化物に係るデータをもとに設定し、焼却処理の評価経路に係る評価パラメータについては、今回新たに設定した。

○埋設処分の評価経路に係る核種に依存しない評価パラメータ：表 4.11

○再利用・再使用の評価経路に係る核種に依存しない評価パラメータ：表 4.12

○焼却処理の評価経路に係る核種に依存しない評価パラメータ：表 4.13

また、埋設処分、再利用・再使用及び焼却処理の評価経路に係る元素依存及び核種依存の評価パラメータを以下のとおり各表に示す。線量換算係数については、線源の幾何形状を考慮し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により算出した。また、焼却処理に係る評価パラメータについては、元素及び核種に依存しない評価パラメータと同様に今回新たに設定したパラメータがある。

○元素依存の評価パラメータ：表 4.14

○核種依存の評価パラメータ：表 4.15

4. 2. 5 クリアランスレベルの暫定値の算出結果

(1) RI 汚染物

RI 汚染物に対する、一括クリアランス及び個別クリアランスを行った後の埋設処分、再利用、焼却処理に係るクリアランスレベルの算出の結果を表 4.16 及び表 4.17 に示す。

一括クリアランスを行う場合のクリアランスレベルの算出結果と個別クリアランスを行う場合のクリアランスレベルの算出結果とを比較したところ、選定した全ての核種において、最も厳しい値となるクリアランスレベルは、一括クリアランスに係るクリアランスレベルの方であり、個別クリアランスに係るクリアランスレベルに対して常に低い値であるため、一括クリアランスの値を採用すれば、どのように RI 汚染物がクリアランスされても常に保守側の結果が得られることを確認した。

(2) 放射化物

大規模及び小規模の放射線発生装置使用施設の解体等を行った場合に発生する放射化物の埋設処分、再使用・再利用に係るクリアランスレベルの算出の結果を表 4.18 及び表 4.19 に示す。ただし、小規模の放射線発生装置使用施設では、Ti-44 及び Au-195 の核種を含んだ放射化物は発生しないことから、これらの核種については、算出結果を含めないこととした。

大規模施設に係るクリアランスレベルと小規模施設に係るクリアランスレベルとの算出結果を比較したところ、選定した全ての核種において、最も厳しい値となるクリアランスレベルは、大規模施設の方であり、小規模施設に係るクリアランスレベルに対して常に低い値であり、大規模施設に係るクリアランスレベルを採用すれば、発生装置の解体において、どのように放射化物がクリアランスされても常に保守側の結果が得られることを確認した。

5. クリアランスレベルの暫定値の算出に用いたシナリオの妥当性評価について (確率論的解析)

原子力安全委員会がクリアランスレベルに係る報告書を取りまとめる際には、放射能濃度の算出に用いたパラメータ、シナリオ等の妥当性について評価を行っている。

このため、放射線障害防止法の告示に規定すべきクリアランスレベルの設定に向けて、「放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る基本方針」に示した手順に従った決定論的な方法によるクリアランスレベルの暫定値の算出に用いたシナリオ等について、その妥当性の評価として、次のような確率論的解析による評価を行った。

5. 1 シナリオの妥当性評価の目的及び方法

(1) 評価パラメータのばらつき評価

この評価は、評価パラメータのばらつきが、決定論的な方法によるクリアランスレベルの算出結果に与える影響を評価・確認するものであり、その方法として、評価パラメータの確率論的解析を行う。ここで、確率論的解析については、原子力安全委員会がとりまとめた原子炉クリアランス報告書や核燃料使用施設クリアランス報告書に示された方法に基づいて行う。

○ 評価の目的

決定論的な方法によるクリアランスレベルの算出に用いるために選定した評価パラメータが適切で、かつ、現実的な範囲で保守的な選定となっていることを確認する。

○ 評価の方法

図 5.1 に示すように、確率論的解析から求めた放射能濃度の累積分布を用いて、決定論的な方法により算出した $10 \mu\text{Sv/年}$ に相当する放射能濃度が累積分布の確率の中央値 ($P=0.5$) から 97.5%片側信頼区間下限値^{※11} (以下、「97.5%下限値」) ($P=0.025$) の間の範囲にあるかどうかを確認する。

(2) シナリオの妥当性評価

○ 評価の目的

決定論的な方法によるクリアランスレベルの算出に用いた評価パラメータには本来、ばらつきが考えられることから、この評価では、評価経路及び評価パラメータを組み合わせで設定したシナリオが適切、かつ、保守的に選定されていることを確認する。

○ 評価の方法

上述の 97.5%下限値に相当する評価パラメータの組み合わせを、図 5.2 に示すように発生頻度が小さいと考えられるシナリオとして扱い、その数値 (97.5%下限値) が $10 \mu\text{Sv/年}$ を著しく超えないことを確認する。

具体的には、原子力安全委員会により行われたクリアランスレベル評価では、「 $10 \mu\text{Sv/年}$ を著しく超えないめやす線量」として「 $100 \mu\text{Sv/年}$ 」が用いられていることから、今回の評

※11：統計上の信頼区間としては、一般的に 90%、95%、99%信頼区間が用いられている。原子力安全委員会における原子炉施設等を対象としたクリアランスレベルの検討では大気汚染等を測定観測する環境影響評価で用いられている 95%信頼区間を参考に、検討対象となる片側信頼区間 97.5%下限値 ($P=0.025$) を用いており、クリアランス報告書においても、同様の考え方が採用されている。

価では、97.5%下限値の最小値の濃度を10倍した $100\mu\text{Sv/年}$ 相当濃度と決定論的な方法により求めたクリアランスレベル（ $10\mu\text{Sv/年}$ 相当濃度）とを比較し、クリアランスレベル（ $10\mu\text{Sv/年}$ 相当濃度）の方が $100\mu\text{Sv/年}$ 相当濃度（97.5%下限値の最小値の10倍）よりも常に低くなっていることを確認する。

5. 2 クリアランスレベルの算出に用いたシナリオの妥当性評価

5. 2. 1 確率論的解析を行う対象核種の選定

まず、確率論的解析を行う RI 汚染物に係る対象核種を表 5.1 に示す。RI 汚染物に係る対象核種の選定は、RI 協会が平成 16 年から平成 20 年までの 5 年間に供給した非密封の放射性同位元素供給 33 核種及び放射性医薬品供給 14 核種のうち、それぞれ供給量が最大値となる核種の放射能を 1 として他の核種を規格化した場合に 1 桁の範囲に入る核種は、H-3、C-14、P-32、I-125、Tc-99m 及び Mo-99 の 6 核種であり、RI 汚染物としての今後の継続的に発生することを考慮して、これらの 6 核種を対象核種として選定した。なお、確率論的解析を行う対象核種の選定にあたっては、RI 協会及び原子力機構が既に保管している RI 汚染物の状況についても確認を行った。

次に、確率論的解析を行う放射化物に係る対象核種を表 5.2 に示す。放射化物に係る対象核種の選定については、RI 汚染物における対象核種の選定の考え方を踏まえ、 $[(D/C)/(D/C)_{\max}]$ の値が小数点以下 1 桁目に含まれる 7 核種を放射化物に係る確率論的解析の対象核種として選定した。

5. 2. 2 確率論的解析の対象経路の抽出

確率論的解析の対象として選定したそれぞれの核種に対して、決定論的な方法により算出した $10\mu\text{Sv/年}$ の被ばく線量に相当する各評価経路の放射能濃度結果を基に、それらの放射能濃度の中で小さい方より 3 つの評価経路を確率論的解析の対象経路として抽出する。また、確率論的解析の対象として選定したいずれかの核種に対して抽出した評価経路は、他の核種の評価経路として加えることとする。

なお、原子力安全委員会によるクリアランスレベルに係る検討においては、確率論的解析を行う対象経路が以下のように抽出されている。

○ 原子炉クリアランス報告書

確率論的解析を行う対象経路として、埋設処分シナリオの全 41 経路のうち 11 経路が抽出され、再利用シナリオの全 32 経路のうち 14 経路が抽出されている。（表 5.3 を参照）

○ 核燃施設クリアランス報告書

確率論的解析を行う対象経路として、埋設処分シナリオの全 41 経路のうち 12 経路が抽出され、再利用シナリオの全 31 経路のうち 14 経路が抽出されている。（表 5.3 を参照）

以上の考え方を踏まえた RI 汚染物及び放射化物に係る確率論的解析を行う対象経路の抽出結果を表 5.4 及び表 5.5 に示す。対象経路の選定については、上述の対象経路の抽出の考え方に基き、RI 汚染物については、確率論的解析の対象核種を表 5.1 に示す 6 核種とした場合には、対象経路は 13 経路となり、放射化物については、対象核種を表 5.2 に示す 7 核種とした場合には、対象経路は 4 経路となった。

5. 2. 3 確率論的解析によりばらつきの影響を確認すべき評価パラメータについて

5. 2. 2で抽出した評価経路に係るクリアランスレベルの算出に用いた評価パラメータの分布型・分布幅を決定する。基本的なパラメータについては、原子力安全委員会が取りまとめたクリアランスレベルに係る報告書に示された評価パラメータの分布型や分布幅を参考とする。

ただし、以下に示す評価パラメータについては、原子力安全委員会の報告書に示された選定根拠や手順を参考に、今回の検討で新たに設定する。

- ・RI 汚染物に係るクリアランス対象物の物量に依存するパラメータ
- ・原子力安全委員会におけるクリアランスレベルの算出において評価されていない核種や元素に係る核種依存及び元素依存の評価パラメータ
- ・焼却処理の評価経路で新たに使用した評価パラメータ

クリアランスレベルの暫定値の算出に用いた評価経路の中で、RI 汚染物に係る確率論的解析を行う対象経路として抽出した評価経路に関連するクリアランスレベルの算出で用いた計算モデルは、4章の式(2)、式(5)～(11)、式(17)～(20)、式(24)～(26)、式(29)～(33)、式(36)～(40)、式(42)～(44)であり、放射化物に係る確率論的解析を行う対象経路として抽出した評価経路に関連するクリアランスレベルの算出で用いた計算モデルは、4章の式(1)、式(2)、式(12)、式(13)である。

5. 2. 4 確率論的解析に用いる評価パラメータの分布幅及び分布型の設定について

RI 汚染物に係る確率論的解析を行う上で、評価パラメータの分布幅及び分布型についての設定を表 5.6 から表 5.23 に示し、放射化物に係る確率論的解析を行う上で、評価パラメータの分布幅及び分布型についての設定を表 5.24 から表 5.27 に示す。分布幅及び分布型の選定の考え方を添付資料 1 に示す。この考え方は、原子炉クリアランス等の評価で用いられている考え方と同じであり、本検討においても、この考え方を踏まえて分布幅及び分布型の選定を行っており、「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」^{※12}で既に検討されている評価パラメータについては、同一の分布幅及び分布型を選定した。

一方、以下に示す評価パラメータは、放射線障害防止法のクリアランスレベルの算出において新たに選定したものであることから、添付資料 1 の分布幅及び分布型の選定の考え方に従い、文献及び実態調査等の結果を踏まえて選定を行った。

- クリアランス対象物の発生量に依存するパラメータ（混合率、廃棄物の総量、再利用される金属中のクリアランス対象物割合、再利用されるコンクリート中のクリアランス対象物割合など）
- 焼却処理シナリオの評価で使用するパラメータ（焼却炉壁の表面積、焼却炉壁に付着する割合、核種が排気に移行する割合、焼却炉でのほかの廃棄物との混合割合、焼却処理能力、熔融処理能力など）
- 核種・元素に依存するパラメータのうち、既往の評価で確率論的解析の対象となっていない核種・元素のパラメータ

※12：「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」（平成 11 年 3 月、原子力安全委員会）

5. 2. 5 RI 汚染物を対象とした核種の確率論的解析の結果

決定論的解析による試算結果と 97.5%下限値の比較を表 5.28 に、核種ごとの目安線量相当濃度の累積分布関数を図 5.3 から図 5.8 に、シナリオの妥当性を確認する図を図 5.9 から図 5.14 に示す。

5. 2. 5. 1 評価パラメータのばらつき評価結果

ここでは、確率論的解析から求めた放射能濃度の累積分布関数を用いて、決定論的な方法により求めた $10 \mu\text{Sv/年}$ に相当する放射能濃度（図中の垂直な直線）が累積分布関数の確率の中央値（ $P=0.5$ に対する濃度）から 97.5%片側信頼区間下限値（以下、「97.5%下限値」という。図 5.3 から図 5.8 で累積分布関数が $P=0.025$ の破線と交わる点の濃度）の間の範囲にあるかどうかを確認することで行う。実質的には中央値を下回ることを確認することにより、決定論的解析の評価パラメータが保守的であることのみを確認している。

図 5.3 から図 5.8 に示すように、放射能濃度の累積分布関数を用いた評価の結果、対象としたすべての核種（H-3、C-14、P-32、Mo-99、Tc-99m、I-125）で、決定論的解析の結果は、確率論的解析結果による累積分布関数の中央値より十分に低く、97.5%下限値の近傍に位置している。このことは、評価パラメータが適切かつ保守的に選定されていることを示している。

5. 2. 5. 2 シナリオの妥当性評価結果

ここでは、97.5%下限値に相当する評価パラメータの組み合わせを発生頻度が小さいと考えられるシナリオとして扱い、97.5%下限値が $10 \mu\text{Sv/年}$ を著しく超えないことを確認することで行う。具体的には、 $10 \mu\text{Sv/年}$ を著しく超えないめやす線量である $100 \mu\text{Sv/年}$ *¹³相当濃度（97.5%下限値の最小値の 10 倍で与える）と、決定論的な方法により求めたクリアランスレベル（ $10 \mu\text{Sv/年}$ 相当濃度）とを比較し、クリアランスレベルの方が $100 \mu\text{Sv/年}$ 相当濃度よりも常に低くなっていることを確認する。この条件を満たす時、決定論的解析による算出結果に基づくクリアランスレベルを適用した場合に、発生頻度が小さいと考えられるシナリオの線量が $100 \mu\text{Sv/年}$ を超えないことを示している。

この結果については、表 5.28 および図 5.9 から図 5.14 に示すとおり、対象とした 6 核種すべてについて決定論的解析で求めたクリアランスレベルが $100 \mu\text{Sv/年}$ 相当濃度よりも常に低くなっていることを確認した。

5. 2. 6 放射化物を対象とした核種の確率論的解析の結果

確率論的解析の結果一覧を表 5.29 に、核種ごとの目安線量相当濃度の累積分布関数を図 5.15 から図 5.21 に、シナリオの妥当性についての確認結果を図 5.22 から図 5.28 に示す。

※13：このめやす線量は、原子力安全委員会により行われたクリアランスレベル評価で用いられている。

5. 2. 6. 1 評価パラメータのばらつき評価結果

RI 汚染物の評価パラメータのばらつき評価と同様に、図 5.15 から図 5.21 に示すように、放射能濃度の累積分布関数を用いた評価の結果、対象とした全ての核種 (Na-22、Mn-54、Co-60、Sb-125、Cs-134、Eu-152、Eu-154) で、決定論的解析の結果は、確率論的解析結果による累積分布関数の中央値より十分に低く、97.5%下限値の近傍に位置している。このことは、評価パラメータが適切かつ保守的に選定されていることを示している。

5. 2. 6. 2 シナリオの妥当性評価結果

RI 汚染物のシナリオの妥当性評価と同様に、表 5.29 及び図 5.22 から図 5.28 に示すとおり、対象とした7核種すべてについて決定論的解析で求めたクリアランスレベルが $100 \mu\text{Sv/年}$ 相当濃度よりも常に低くなっていることを確認した。

5. 2. 7 確率論的解析の結果を踏まえた評価パラメータ等の見直し

確率論的解析では、決定論的な方法によるクリアランスレベルの暫定値の算出に用いたシナリオ等の妥当性について評価した結果、以下の2つの項目を満足することを確認する。

① 評価パラメータのばらつきに係る確認

算出したクリアランスレベルが累積分布の確率の中央値から 97.5%下限値の間の範囲にあるかどうかを確認する。

② シナリオの妥当性に係る確認

RI 汚染物及び放射化物を対象に確率論的解析の対象経路として抽出したそれぞれの 13 経路及び 4 経路の中で、97.5%下限値が最も小さくなる評価経路に対して、再度めやす線量を $100 \mu\text{Sv/年}$ として累積分布を求め、その 97.5%下限値における放射能濃度に対して、めやす線量を $10 \mu\text{Sv/年}$ として決定論的な方法により算出した放射能濃度が常に下回ることを確認する。

これらの確認を行い、項目を満足しなかった場合には、必要に応じて、

○ 決定論的な方法によるクリアランスレベルの算出に用いる評価パラメータの再検討

○ 確率論的解析に用いる評価パラメータの分布型・分布幅について再検討

を行い、決定論的な方法によるクリアランスレベルの算出、又は確率論的解析を再び行うこととなる。

RI 汚染物及び放射化物についての確率論的解析の結果は、決定論的な方法によるクリアランスレベルの算出に用いる評価パラメータの設定が僅かながら保守的になっている部分があるものの、評価パラメータの再検討及び評価パラメータの分布型・分布幅についての再検討を行う必要があ

るという結果ではなかった。

5.3 確率論的解析の結果について整理

以上のことから、RI 汚染物及び放射化物についての決定論的な方法によるクリアランスレベルの暫定値の算出のために選定した評価パラメータが保守的な選定となっていること、評価経路及び評価パラメータを組み合わせ設定したシナリオが適切かつ保守的に選定されていることを確認することができた。

6. 国際的なクリアランスレベルとの比較

※6章では、国際的なクリアランスレベルとの比較検討について記載する予定あり、ここでは、まず「導入部」として、国際的なクリアランスレベルとの比較、評価を行う経緯・目的について記載する予定。

6. 1 国際的なクリアランスレベル

※「6. 1 国際的なクリアランスレベル」では、今回算出したクリアランスレベルの暫定値との比較を行う国際的なクリアランスレベルとして、どの様な値を採用するかについて記載する予定。

6. 2 SRS No.44 の考え方に基づいたクリアランスに係る放射能濃度の算出

※「6. 2 SRS No.44 の考え方に基づいたクリアランスに係る放射能濃度の算出」としては、第20回クリアランスWGの「資料第20-3号」に係る審議結果を踏まえ、資料の内容に基づいて、

6. 2. 1 SRS No.44 で用いられている被ばくシナリオ

6. 2. 2 被ばくモデル

6. 2. 2. 1 外部被ばくに係るモデル (WL, WF, WO, RH, RP シナリオ)

6. 2. 2. 2 吸入による被ばくに係るモデル (WL, WF, RL, RF, RP シナリオ)

6. 2. 2. 3 経口摂取による被ばくに係るモデル (WL, WF, RP, RL シナリオ)

6. 2. 2. 4 地下水移行シナリオを考慮した被ばくに係るモデル (RW シナリオ)

6. 2. 2. 5 皮膚被ばくに係るモデル (SKIN シナリオ)

6. 2. 3 SRS No.44 で用いられた評価パラメータ

6. 2. 4 SRS No.44 の考え方に基づいた放射能濃度の算出結果

(※「6. 2. 4 SRS No.44 の考え方に基づいた放射能濃度の算出結果」については、資料第20-3号の国際的なクリアランスレベルとの比較検討についての考え方がクリアランスWGで承認されれば、次回のクリアランスWGで「算出結果」を審議し、その結果を記載する予定。)の内容を記載する予定。

6. 3 国際的なクリアランスレベルとの比較

4. 2. 5でも示したとおり、クリアランスレベルの暫定値の算出結果では、RI汚染物において、一括クリアランスの方が個別クリアランスに比べて値が常に低く、放射化物においても、同様に大規模施設の方が小規模施設に比べて値が常に低くなっていることを確認した。このことから、ここでは、RI汚染物の一括クリアランスを対象とした場合と大規模施設で発生する放射化物を対象とした場合のクリアランスレベルの暫定値について、RS-G-1.7をとりまとめた際にクリアランス等の判断に用いる放射能濃度の基準値の算出根拠として提示されているSRS No.44の放射能濃度値、または、SRS No.44における放射能濃度の算出方法に基づいて算出した放射能濃度値との比較を行った。その結果を表6.1(仮)及び6.2(仮)に示す。

まず、RI 汚染物のクリアランスレベルについて比較を行ったところ、一括クリアランスを想定して算出した各核種のクリアランスレベルのうち、SRS No.44 の放射能濃度値より低くなった核種は I-125 であり、SRS No.44 の放射能濃度値との比率は約 0.1 となった。一方、SRS No.44 の放射能濃度値との比率が 100 を超える結果となった核種は F-18、Ca-45、Y-90、Tc-99m 及び Cd-109 であり、それぞれの比率は、60000^{※15}、170、160、130 及び 130 となった。また、個別クリアランスを想定して算出した全ての核種のクリアランスレベルは、SRS No.44 の放射能濃度値との比率が 10 を超える結果となった。

次に、放射化物のクリアランスレベルについて比較を行ったところ、大規模施設において発生する放射化物を対象として算出した各核種のクリアランスレベルのうち、Cl-36、Ni-59 及び Hg-203 については SRS No.44 の放射能濃度値より低くなり、それぞれの SRS No.44 の放射能濃度値との比率が 0.73、0.25 及び 0.80 となったものの、これらを含めたすべての核種は SRS No.44 の放射能濃度値との比率が 0.1 から 10 の範囲に収まる結果となった。一方で、小規模施設において発生する放射化物を対象として算出したすべての核種のクリアランスレベルは、SRS No.44 の放射能濃度値との比率が 10 を超える結果となった。

6. 3. 1 SRS No.44 の放射能濃度値との比較の結果に係る考察

3. 3. 1 に示した SRS No.44 の放射能濃度値との比較において、RI 汚染物の一括クリアランスを想定して算出したクリアランスレベル、及び大規模施設において発生する放射化物を対象として算出したクリアランスレベルでは、ほとんどの核種のクリアランスレベルが SRS No.44 の放射能濃度値と同等となる結果が得られた。しかしながら、これらの RI 汚染物及び放射化物に関するクリアランスレベルの算出結果において、SRS No.44 の放射能濃度値を下回った核種と、逆に 2 桁以上大きくなった核種もあるため、その理由について考察を行った。

6. 3. 2 今回の算出結果が SRS No.44 の放射能濃度値より低くなった核種について

本検討で得られた算出結果（放射能濃度 (Bq/g)）が、SRS No.44 の放射能濃度値 (Bq/g)より低くなった核種は、RI 汚染物（一括クリアランス）では I-125 であり、一方、放射化物（大規模施設）では Cl-36、Ni-59、Hg-203 の計 4 核種である。その理由の考察を以下に示す。

(1) I-125 について

本検討における I-125 の決定経路は、可燃物等の焼却処理に係る評価経路の熔融炉周辺における畜産物摂取経路である。RS-G-1.7 では、鋳物工場の周辺居住者の吸入による被ばくは想定しているものの、畜産物摂取による被ばくは想定していない。また、決定経路が同様となる核種 (Cl-36、I-131) について、崩壊形式、元素・核種に依存するパラメータを比較したところ、I-125 につい

※15 : F-18 は、半減期が約 1.8 時間であり、今回のクリアランスレベルを算出する対象核種として選定した核種の中で、最も半減期が短い核種である。今回のクリアランスレベルの算出では、被ばく開始であるクリアランスまでの期間 (1 日) の減衰と、被ばく期間中 (1 年間) の減衰を考慮している。一方、RS-G-1.7 における決定経路である皮膚被ばくを想定した経路では、クリアランスまでの期間及び被ばく期間中の両方の減衰を考慮していない。このように、被ばくに係る期間の設定の違いにより、F-18 については、SRS NO. 44 の放射能濃度値との比率が極端に大きくなっている。

ては、Cl-36 と比べて焼却灰の溶融時の排気への移行割合が大きく、経口摂取内部被ばく線量係数も大きいなどの特徴がある。さらに、I-131 と比べた場合には、その半減期が I-125 よりも短いために物理的減衰の効果により畜産物中の核種濃度が I-125 よりも低くなる。このようなことから、これらの3つの核種の中で、I-125 だけが SRS No.44 の放射能濃度値を下回ったものと考えられる。

(2) Cl-36 について

Cl-36 の本検討における決定経路は、地下水移行シナリオ^{※16}の畜産物摂取経路である。RS-G-1.7 では、このような畜産物を摂取する経路は選定されていない。さらに、Cl（塩素）の飼料作物への移行係数は、他の核種と比べて大きくなっている。これらの点が、Cl-36 の算出結果が SRS No.44 の放射能濃度値を下回る理由であると考えられる。

(3) Ni-59 について

Ni-59 の本検討における決定経路は、地下水移行シナリオの農作物摂取経路であり、RS-G-1.7 でも同様の被ばく経路（地下水移行経路からの一般公衆の被ばく経路）が考慮されている。この経路について、井戸水飲用経路の評価パラメータ等を比較したところ、本検討の方が、核種が移行しやすい条件を設定していた（RS-G-1.7 の約 60 倍の移行量）。このため、本検討における Ni-59 の算出結果が SRS No.44 の放射能濃度値を下回ったと考えられる。

(4) Hg-203 について

Hg-203 については、RS-G-1.7 の決定シナリオである「処分場又は鑄物工場以外の施設の作業者の被ばく」に含まれる経路のうち、外部被ばく経路が支配的であり、本検討の決定経路と類似している。これらの経路の評価パラメータ等について着目したところ、Hg-203 の算出結果が SRS No.44 の放射能濃度値を下回る理由は、比較的半減期が短いために被ばく開始までの期間の違い（本検討では1日の減衰、RS-G-1.7 では1年の減衰を考慮）が影響しているためと考えられる。

※SRS No.44 に放射能濃度の値が示されていない核種については、SRS No.44 の考え方に基づいた放射能濃度の算出を行い、今回、決定論的な方法で算出したクリアランスレベルの暫定値を上回った場合には、考察を加える。

(5) まとめ

以上の検討をまとめると、いずれの核種についても、本検討と RS-G-1.7 とのシナリオの考え方や評価パラメータの設定の違いが顕著に現れたものと考えられる。

これらの核種に関する本検討の算出結果と SRS No.44 の放射能濃度値の比は、概ね1桁以内の範囲にある。

原子力施設から発生する放射性廃棄物を対象にしたクリアランスレベルの算出結果の値と SRS No.44 の放射能濃度値との乖離については、「再評価報告書」における以下の記述がある。

(5) 概して言えば、対象物を特に限定しない一般的なレベルは、考慮すべきシナリオに、一般

※16：原子炉クリアランス報告書では、「評価経路及び評価パラメータを組み合わせたものを「シナリオ」と呼ぶ。」としている。

性、すなわち国際間の流通等のきわめて多様なシナリオを包絡することが特段に要求されるため、核種組成などの対象物に固有の性質に着目しつつそれぞれに対応したシナリオを想定した上で算出されるレベルに比べ、その値は低くなる。実際、RS-G-1.7 の規制免除レベルの導出にあたっては、そのようなシナリオの包絡性が特に考慮されており、原子炉等の解体廃棄物に固有の性質に着目した再評価と RS-G-1.7 の一般的な規制免除レベルの計算値を比較すると、概して再評価の方が高いことが、確認されている。一部、逆に RS-G-1.7 の規制免除レベルの計算値の方が高い核種もあるが、その違いのほとんどは数倍以下の範囲内にある。

- (6) 推定年線量が $10 \mu\text{Sv/y}$ のオーダー以下であるという、評価の保守性の観点からみれば、再評価値と RS-G-1.7 の規制免除レベルの計算値との間には有意の差はないものと見なすことができ、その意味では、RS-G-1.7 の規制免除レベルを我が国における原子炉等解体廃棄物のクリアランスレベルにも採用することに不都合はないものと考えられ、したがって、国際的整合性などの立場からは、RS-G-1.7 の規制免除レベルを採用することは適切と考えられる。

【再評価報告書より抜粋（P.22 の 9～24 行目）】

上述の考え方を参考に、今回の、一括クリアランスを想定して算出した値及び大規模施設において発生する放射化物を対象として算出した値と SRS No.44 の放射能濃度値との乖離についても、設定した評価経路や評価モデルの保守性からみて、RS-G-1.7 の規制免除レベルと異なる数値を取って放射線障害防止法に係る RI 汚染物や放射化物のクリアランスレベルとして設定することを正当化できるほどの大きさであるとは考えがたい。

6. 3. 3 今回の算出結果が SRS No.44 の放射能濃度値より 2 桁以上大きくなった核種について

表〇.19 に示すとおり、F-18、Ca-45、Y-90、Tc-99m 及び Cd-109 の 5 核種については、RI 汚染物の一括クリアランスを想定した算出結果の値（放射能濃度、単位：Bq/g）が RS-G-1.7 の数値に対して 2 桁以上大きくなる結果が得られた。これらの核種の算出結果に関する考察を以下に示す。

(1) F-18、Y-90 について

これらの核種は、今回の対象核種の中でも半減期が短い（F-18：約 1.8 時間、Y-90：約 64 時間）核種である。そのため、被ばく開始までの期間や被ばく期間中の減衰の設定の影響が大きい核種である。

今回のクリアランスレベルの算出では、クリアランスまで（被ばく開始まで）の期間である 1 日の減衰と、被ばく期間中の減衰（1 年間の被ばく期間中の核種濃度の減衰）を考慮している。

一方、これらの核種の RS-G-1.7 における決定経路である皮膚被ばくを想定した経路では、クリアランスまでの期間及び被ばく期間中の両方の減衰を考慮していない。そのため、目安線量の違い（本検討の決定経路となった外部及び内部被ばく経路では $10 \mu\text{Sv/年}$ 、RS-G-1.7 の皮膚被ばく経路では 50mSv/年 ）の影響以上に、これらの減衰の効果が大きく、今回の算出結果の方が SRS No.44 の放射能濃度値に比べて値が大きくなったものと考えられる。

(2) Tc-99m について

Tc-99m も、今回の対象核種の中では半減期が短い（約 6.1 時間）核種である。そのため、上記と同様、被ばく開始までの期間や被ばく期間中の減衰の設定の影響が大きい核種である。

RS-G-1.7 における Tc-99m の決定経路である（処分場又は鋳物工場以外の施設の作業者の被ばく）では、低頻度シナリオを想定した場合、被ばく開始までの期間を 1 日としており、本検討と同様に設定しているものの、被ばく期間中の減衰は考慮していない。そのため、目安線量の違い（本検討では $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 、RS-G-1.7 の低頻度シナリオでは $1\text{mSv}/\text{年}$ ）の影響以上に被ばく期間中の減衰の影響が大きく、本検討の算出結果の方が SRS No.44 の放射能濃度値に比べて値が大きくなったものと考えられる。

（3）Ca-45 について

RS-G-1.7 における Ca-45 の決定シナリオは、処分場周辺における子どもの吸入及び農作物摂取による被ばく経路であり、そのうち農作物摂取経路の被ばく線量が支配的である（吸入： $3.5\times 10^{-12}\text{Sv}/\text{年}$ 、農作物摂取： $1.3\times 10^{-7}\text{Sv}/\text{年}$ ）。本検討のクリアランスレベルの算出における類似経路として処分場跡地における子どもの農作物摂取経路を対象に、評価パラメータ等を比較したところ、Ca-45 も半減期が約 0.45 年と比較的短いため、被ばくが起こるまでの期間の違い（本検討では 10 年、RS-G-1.7 では 1 年）が土壌及び農作物中の濃度に及ぼす影響が大きく、本検討の算出結果の方が SRS No.44 の放射能濃度値に比べて値が大きくなったものと考えられる。

（4）Cd-109 について

Cd-109 は本検討のクリアランスレベルの算出の対象核種のうち、RS-G-1.7 の決定経路が地下水移行経路からの一般公衆の被ばくとなっている数少ない核種である（他には H-3 と C-14 のみ）。RS-G-1.7 では、分配係数モデルを使用し、Cd-109 に対して、核種移行過程における全ての媒体の分配係数を 0 と保守的に設定している（土壌への吸着がなく全て液層に存在するとしている）。

一方、今回の算出では、土壌中の核種移行に関するパラメータについては現実的な選定値を用いている。すなわち、RS-G-1.7 の設定よりも核種が移行しにくく、また、土壌に吸着しやすいために、水中の Cd-109 の核種濃度が RS-G-1.7 よりも低くなる条件となっている。さらに、処分場に埋設される対象物の量も RS-G-1.7 に比べて小さいため、本検討の算出結果の方が SRS No.44 の放射能濃度値に比べて値が大きくなったものと考えられる。

（5）Nb-93m について

Nb-93m は、外部被ばく及び吸入による内部被ばくよりも経口摂取による被ばくの影響が大きいが、農作物・畜産物への移行係数は比較的小さい核種である。そのため、今回の計算では、直接経口摂取に係る経路が決定経路となり、RS-G-1.7 では飲料水摂取経路を考慮している地下水シナリオが決定シナリオとなる。

今回の計算においても、飲料水摂取経路を含めた地下水移行シナリオを評価しているが、Nb については地下水中の核種移行に関するパラメータの設定に違いがある。RS-G-1.7 では、分配係数モデルを使用し、核種移行過程における全ての媒体の Nb の分配係数を 0（土壌への吸着がなく全て液層に存在するとしている）と保守的に設定している。一方、今回の計算では、処分場からの核種の流出量を計算するモデルとして放出係数モデルを採用し、土壌中の核種移行に関するパラメータについては、RS-G-1.7 の設定よりも核種が移行しにくいために、水中の核種濃度が RS-G-1.7 よりも低くなる条件となったためと考えられる。

なお、Nb-94 は外部被ばくの影響が大きい核種であり、本検討では壁材への再利用にとまなう

外部被ばく経路、RS-G-1.7ではRHシナリオ（汚染された物質で建設された建屋の居住者の被ばく）の外部被ばく経路という、同様の経路が決定経路となっている。そのため、Nb-93mと同じ元素ではあるが、上記の地下水移行シナリオに関するパラメータ設定の影響はみられない。

※SRS No.44に放射能濃度の値が示されていない核種については、SRS No.44の考え方に基づいた放射能濃度の算出を行い、今回、決定論的な方法で算出したクリアランスレベルの暫定値との比較を行い、2桁以上の差が生じた場合には、考察を加える。

(5) まとめ

本検討におけるクリアランスレベルの算出結果で、上述の5核種について、その値がSRS No.44の放射能濃度値よりも2桁以上大きくなった理由は、以下のとおりまとめられる。

- ・本検討とRS-G-1.7が想定している被ばく開始までの期間や被ばく期間中の減衰に対する考え方が異なるため、半減期の短い核種は、特に減衰の効果が大きく影響している。
- ・Cd-109については、RS-G-1.7に比べて本検討の方が地下水移行に係るパラメータの設定がより現実的なものとなっている。

6. 3. 4 国際的なクリアランスレベルとの比較の結果

算出したクリアランスレベルのうち、RI汚染物の一括クリアランスを想定して算出したクリアランスレベルの暫定値及び大規模施設において発生する放射化物を対象として算出したクリアランスレベルの暫定値と、SRS No.44の放射能濃度値とをそれぞれ比較すると、核種によっては値の大小関係はあるが、大多数の核種においてSRS No.44の放射能濃度値の方がRI汚染物及び放射化物に対する計算値を下回った。また、上回った核種も含めて大部分の核種について値の差は概ね1桁以内となっており、両者の乖離はRS-G-1.7に示された値と異なる値を放射線障害防止法のクリアランスレベルとして採用することを正当化するほど大きいとは考えられない。

7. 放射線障害防止法に規定するクリアランスレベル

ここまで、4章では、RI汚染物及び放射化物に含まれる核種を選定し、原子力安全委員会がクリアランスレベルの算出に係る検討を行った考え方にに基づき、RI汚染物及び放射化物に起因して現実的に起こると考え得る評価経路を抽出し、さらに我が国において現実的なパラメータを用いて、決定論的な方法によりRI汚染物及び放射化物を対象とした核種のクリアランスレベルの暫定値を算出した。また、5章では、確率論的解析を行い、クリアランスレベルの暫定値の算出のために選定した評価パラメータが保守的な選定となっていること、評価経路及び評価パラメータを組み合わせ設定したシナリオが適切かつ保守的に選定されていることを確認した。さらに、6章では、国際的なクリアランスレベルとの比較検討として、RI汚染物の一括クリアランスを想定して算出したクリアランスレベル及び大規模施設において発生する放射化物を対象として算出したクリアランスレベルのそれぞれに対して、SRS No.44の放射能濃度値との比較を行い、両者の値はほぼ同等であることから、RS-G-1.7に示された値と異なる値を放射線障害防止法のクリアランスレベルとして採用することを正当化するほどの相違は考えられないとの検討結果を示した。

以上のような検討結果を踏まえた上で、放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る検討に資するため、

- 今回算出したクリアランスレベルの暫定値
- SRS No.44の放射能濃度値、またはSRS No.44の方法等に基づいて算出した放射能濃度値（IAEA RS-G-1.7に示された濃度基準値の算出根拠を示したIAEA SRS No.44で示されている放射能濃度値）（※資料第20-3号に係る考え方が承認された場合に記載。）
- RS-G-1.7に示されたクリアランスレベルとして適用可能な大量の固体状物質に対する濃度基準値
- 放射線障害防止法に取り入れられている免除レベルの放射能濃度^{※17}

を、RI汚染物及び放射化物に関して、それぞれ表7.1及び表7.2にまとめる。

放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルとしては、今回の検討結果を踏まえるとともに、クリアランスされた物の国際的な流れにおける影響や原子炉等規制法に基づきクリアランスされた物との取扱実務の整合性を考慮すると、RI汚染物を対象とした核種のクリアランスレベルは、表7.1の「放射線障害防止法に規定すべきクリアランスレベル(Bq/g)」の欄に記載された値とし、放射化物を対象とした核種のクリアランスレベルは、表7.2の「放射線障害防止法に規定すべきクリアランスレベル(Bq/g)」の欄に記載された値とすることが適切であると考えられる。

※17 「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」（平成十二年科学技術庁告示第五号、最終改正、平成十八年十二月二十六日 文部科学省告示第百五十四号）の別表一の第三欄の値

8. おわりに

放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの技術的検討においては、RI 汚染物及び放射化物に係るクリアランス対象物量を想定し、現実的に起こると考え得る評価経路を抽出し、我が国において考えられる現実的なパラメータを用いて、決定論的な方法により選定された核種のクリアランスレベルの暫定値を算出した。また、算出した暫定値については、IAEA SRS No.44 に示された放射能濃度値との比較評価を行い、放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルとして、

- RS-G-1.7 にクリアランスレベルが示されている核種については、その値を用いる。
- SRS No.44 にのみ放射能濃度値が示されている核種については、その値を対数丸めした値を用いる。
- SRS No.44 で放射能濃度値が示されていない核種については、SRS No.44 に示された方法に基づいて新たに算出した放射能濃度値を対数丸めした値を用いる (※資料第20-3号に係る考え方が承認された場合に記載。)

という結論に至った。

今回のクリアランスレベルの暫定値の算出は、RI 汚染物の一括クリアランス及び大規模施設の解体等で発生するクリアランス物量を考慮して、クリアランス対象物量として現状で考えられる最大物量を想定して行っている。将来的には今回想定した物量を超えるような大規模施設が出てくる可能性、あるいは、今回の暫定値の算出に用いた評価パラメータも最新の知見や社会の情勢により変更される可能性が考えられる。

しかしながら、RS-G-1.7 のクリアランスレベルを算出する時の目安線量は我が国と同様 ICRP の考え方にに基づき $10 \mu \text{Sv/y}$ のオーダーとしており、クリアランスレベルについても、最も保守的な評価パラメータ等の条件を用いて算出された SRS No.44 の放射能濃度値を対数丸めして、0.1、1、10、100、又は 1000(Bq/g)等の様に定めている。このような、経緯から IAEA では、RS-G-1.7 のクリアランスレベルについては、必ずしも厳密に踏襲する必要はなく、0.1~1 桁程度の違いは同等のものとして扱って際し使えないとされており、1 桁高い値を規制値として採用している国も存在している。さらに、今回当 WG が検討のために採用したパラメータは、現実的な設定値を目指したものの、確率論的評価の結果に現れているように保守的なものとなっていることに加え、現実にはあり得ないような処分システムを用いた評価を採用しており、その結果、RS-G-1.7 のクリアランスレベルの採用は、結果としてクリアランスの目安線量に対して相当の余裕を持ったものとなっている。

以上のような状況を踏まえると、将来的に、今回想定したクリアランス対象物量等に変更があったとしても、放射線障害防止法に定めるクリアランスレベルは直ちに再検討を必要とするようなものではなく、国際的整合性の観点から国際的動向を見極めつつ、適時にその対応を図っていくことで十分である。

また、4. 2. 1. 4 でも示したように、本検討で選定した対象核種以外の核種については、今後も必要に応じてクリアランスレベルの設定に係る検討を行うこととする。

参考文献

- (1) : 放射線安全規制検討会クリアランス技術検討ワーキンググループ、「放射線障害防止法におけるクリアランス制度の整備に係る技術的検討について（中間報告書）」、平成 18 年 6 月
- (2) : 原子力安全委員会、「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」、平成 11 年 3 月 17 日
- (3) : International Atomic Energy Agency, Application of the Concept of Exclusion, Exemption and Clearance（規制除外、規制免除及びクリアランス概念の適用）, Safety Guide No. RS-G-1.7, (2004)
- (4) : 原子力安全委員会、「原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について」、平成 16 年 12 月（平成 17 年 3 月 17 日一部訂正及び修正）
- (5) : 放射線審議会基本部会、「放射性固体廃棄物埋設処分及びクリアランスに係る放射線防護に関する基本的考え方について」、平成 22 年 1 月
- (6) : International Atomic Energy Agency, Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA Safety Report Series No.44, (2005)
- (7) : 原子力安全委員会、「重水炉、高速炉等におけるクリアランスレベルについて」、平成 13 年 7 月
- (8) : 原子力安全委員会、「核燃料使用施設（照射済燃料及び材料を取り扱う施設）におけるクリアランスレベルについて」、平成 15 年 4 月
- (9) : 原子力安全委員会、「ウラン取扱施設におけるクリアランスレベルについて」、平成 21 年 10 月
- (10) : International Atomic Energy Agency, Clearance levels for radionuclides in solid materials（固体状物質に含まれる放射性核種のクリアランスレベル）, IAEA-TECDOC-855, (1996)
- (11) : International Atomic Energy Agency, Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine（医療、産業及び研究における放射性核種の使用によって生じる物質のクリアランス）, IAEA-TECDOC-1000, (1998)
- (12) : 高エネルギー加速器研究機構、「小規模放射線発生装置使用施設における放射化状況に関する調査報告書」、平成 19 年 3 月
- (13) : 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、「小規模医療用放射線発生装置使用施設におけるクリアランス制度導入に向けた適切な放射化物の取扱いに関する調査報告書」、平成 20 年 3 月
- (14) : 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、「放射線治療用直線加速装置使用施設及び PET 診断薬製造用サイクロトロン使用施設等における放射化評価手法並びに放射化物の発生状況取扱いに関する調査」、平成 21 年 3 月
- (15) : 原子力安全委員会、「原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について」、平成 13 年 7 月
- (16) : 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会、「原子力施設におけるクリアランス制度の整備について、平成 16 年 9 月 14 日（平成 16 年 12 月 13 日改訂）
- (17) : 社団法人 日本原子力学会、「クリアランスの判断方法：2005（日本原子力学会標準）」、平成 17 年 7 月
- (18) : 独立行政法人原子力安全基盤機構、「平成 17 年度クリアランス制度の整備に係る調査に関する報告書」、06 基廃報—0006、平成 18 年 7 月

放射線安全規制検討会 委員名簿

(平成22年1月現在)

- 大森 佐與子 大妻女子大学社会情報学部 教授
長見 萬里野 (財)日本消費者協会 参与
木村 英雄 (独)日本原子力研究開発機構 安全研究センター
廃棄物・廃止措置安全評価グループ 研究主幹
日下部 きよ子 東京女子医科大学画像診断学・核医学講座 教授
草間 朋子 大分県立看護科学大学 学長
◎ 小佐古 敏荘 東京大学大学院工学系研究科 教授
○ 近藤 健次郎 高エネルギー加速器研究機構 名誉教授
田中 勝 鳥取環境大学 教授
反保 浩一 第一三共(株) 品川研究開発センター 研究開発総務部
総務労務品川グループ 主査
蜂谷 みさを (独)放射線医学総合研究所緊急被ばく医療研究センター
被ばく医療部主任研究員
東 泰彦 富士電機システムズ(株) オートメーション事業本部 東京工場
放射線機器部 主席
古川 修 (社)日本アイソトープ協会 環境整備部 部長
山口 一郎 国立保健医療科学院生活環境部 主任研究官
山本 幸佳 大阪大学 名誉教授
山本 英明 (独)日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター
原子力科学研究所 放射線管理部 技術主席
米原 英典 (独)放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター
規制科学総合研究グループ グループリーダー

◎：座長

○：座長代理

(敬称略、50音順)

開催日

- | | |
|------|------------|
| 第25回 | 平成21年4月21日 |
| 第26回 | 平成21年5月21日 |
| 第27回 | 平成21年6月22日 |
| 第28回 | 平成21年7月30日 |
| 第29回 | 平成21年12月7日 |
| 第30回 | 平成22年1月20日 |

クリアランス技術検討ワーキンググループ 委員名簿

(平成22年1月現在)

- 飯本 武志 東京大学 環境安全本部 准教授
石田 正美 (財) 原子力安全技術センター 理事
上叢 義朋 (独) 理化学研究所 仁科加速器研究センター 安全業務室長
木村 英雄* (独) 日本原子力研究開発機構 安全研究センター
廃棄物・廃止措置安全評価グループ 研究主幹
◎ 近藤 健次郎* 高エネルギー加速器研究機構 名誉教授
反保 浩一* 第一三共(株) 品川研究開発センター 研究開発総務部
総務労務品川グループ 主査
服部 隆利 (財) 電力中央研究所 原子力技術研究所 上席研究員
古川 修* (社) 日本アイソトープ協会 環境整備部 部長
森本 隆夫 (財) 日本分析センター 事務局 参事
山本 英明* (独) 日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター
原子力科学研究所 放射線管理部 技術主席

◎主査

*放射線安全規制検討会の委員

(敬称略、50音順)

開催日

- 第7回 平成21年6月10日
第8回 平成21年7月24日
第9回 平成21年8月25日
第10回 平成21年9月15日
第11回 平成21年10月2日
第12回 平成21年10月21日
第13回 平成21年11月6日
第14回 平成21年11月25日
第15回 平成21年12月16日
第16回 平成22年1月8日
第17回 平成22年3月18日
第18回 平成22年6月30日
第19回 平成22年8月5日
第20回 平成22年8月31日
第21回 平成22年1月8日