

(案)

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（第2次）について

平成22年 月

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

文部科学省
科学技術・学術政策局

目 次

1. はじめに	1
1. 1 クリアランスについて	1
1. 2 クリアランスレベルの検討に係る国内外の動向	1
1. 2. 1 IAEAにおけるクリアランスレベルの検討	1
1. 2. 2 クリアランスレベルの検討に係る我が国の動向	1
2. 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について	3
2. 1 検討の経緯及び状況	3
2. 2 クリアランス制度導入等に係る制度設計の基本方針	4
2. 2. 1 原子炉等規制法に準じたクリアランス制度の導入	4
2. 2. 2 放射化物に対する安全規制の導入	4
2. 2. 3 廃止措置計画の届出化	5
2. 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基本方針	6
2. 3. 1 設定方針	6
2. 3. 2 クリアランスレベルの設定手順	6
2. 4 クリアランス判断方法の検討に関する基本方針	9
2. 4. 1 放射化物について	9
2. 4. 2 RI 汚染物について	10
2. 4. 2. 1 半減期の短い核種を念頭においた減衰に基づくクリアランス判断	10
2. 4. 2. 2 半減期の長い核種を念頭においたクリアランス判断	11
2. 5 報告書の目的及び範囲	12
3. クリアランスレベルの設定に係る検討	13
3. 1 クリアランス対象物の物量について	14
3. 1. 1 RI 汚染物について	14
3. 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	14
3. 1. 1. 2 RI 汚染物に係るクリアランス対象物とその物量	15
3. 1. 2 放射化物について	15
3. 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	16
3. 1. 2. 2 放射化物に係るクリアランス対象物とその物量	16
3. 2 クリアランスレベルの算出について	18
3. 2. 1 クリアランスレベルを算出する対象核種の選定	18
3. 2. 1. 1 RI 汚染物に係る対象核種の選定	18
3. 2. 1. 2 放射化物に係る対象核種の選定	19
3. 2. 1. 3 クリアランスレベルを算出する対象核種の選定	20
3. 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	21
3. 2. 2. 1 埋設処分の評価経路	21
3. 2. 2. 2 再利用・再使用の評価経路	21
3. 2. 2. 3 焼却処理の評価経路	21

3. 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	22
3. 2. 3. 1	埋設処分の計算モデル	23
3. 2. 3. 2	再利用・再使用の計算モデル	30
3. 2. 3. 3	焼却処理の計算モデル	35
3. 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	42
3. 2. 5	クリアランスレベルの算出結果	43
3. 3	国際的なクリアランスレベルとの比較及び考察	44
3. 3. 1	国際的なクリアランスレベルとの比較	44
3. 3. 2	RS-G-1.7の計算値との比較の結果に係る考察	44
3. 3. 2. 1	今回の算出結果がRS-G-1.7の計算値より低くなった核種について	44
3. 3. 2. 2	今回の算出結果がRS-G-1.7の計算値より2桁以上大きくなった核種について	46
3. 4	決定論的な方法による算出結果を踏まえたクリアランスレベルの設定について	48
4.	放射線障害防止法へのクリアランス制度の導入に伴う政省令・告示等の制定に向けた今後の技術的検討事項	49
4. 1	クリアランスレベルの設定に係る検討事項	49
4. 1. 1	クリアランスレベルの算出に用いたシナリオ等の妥当性評価	49
4. 1. 1. 1	シナリオ等の妥当性評価の目的及び方法について	49
4. 1. 1. 2	クリアランスレベルの算出に用いたシナリオ等の妥当性評価に係る手順	50
4. 2	放射化物に係る今後の検討事項	53
4. 2. 1	放射化物としての規制を必要としない放射線発生装置の種類に係る検討	53
4. 2. 1. 1	国内における放射線発生装置の設置状況	53
4. 2. 1. 2	放射線治療用直線加速装置について	53
4. 2. 1. 3	PET核種製造用小型サイクロトロンについて	55
4. 2. 1. 4	政省令・告示等を制定するために必要な検討事項	55
4. 3	クリアランス判断方法に係る検討	57
4. 3. 1	検討の目的	57
4. 3. 2	クリアランス判断にあたって	57
4. 3. 3	検討しなければならない技術的事項	58
4. 3. 3. 1	RI汚染物の放射能濃度確認	58
4. 3. 3. 2	核種の減衰に基づくRI汚染物のクリアランス判断	58
5.	おわりに	61
	参考文献	

1. はじめに

1. 1 クリアランスについて

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と比較して十分小さく、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⁾。

1. 2 クリアランスレベルの検討に係る国内外の動向

1. 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（以下、「IAEA」という。）¹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「TECDOC-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」を出版した⁽²⁾。また、同年 2 月には、「BSS²：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」において、クリアランスの概念を整理した。

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³」（以下、「RS-G-1.7」という。）を出版している。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⁽³⁾。

1. 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のないもの」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、

¹: International Atomic Energy Agency (IAEA)

²: IAEA Safety Series No. 115, “International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources 「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」” (1996)

³: IAEA RS-G-1.7 「Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance」(2004)

「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考える。」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うけて、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。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、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及び文部科学省の研究炉等安全規制検討会では、「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。)に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、「クリアランス」に係る制度の検討が行われた。

これらの検討を経て、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確認が行われ、ベンチやテーブルとして再生利用されている。

なお、昭和 62 年基本部会報告については、その見直しに係る検討が放射線審議会基本部会において現在進められているところであるが、同報告書案においても、「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⁽⁴⁾。

2. 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について

2. 1 検討の経緯及び状況

文部科学省における放射線安全規制検討会は、「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。なお、平成 17 年 5 月 20 日に原子炉等規制法が改正され、同法律へクリアランス制度が導入されている。

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化物の取扱いや廃止措置に関する事項について、必要な情報を取りまとめ、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もの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 5 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た。

2. 2 クリアランス制度導入等に係る制度設計の基本方針

クリアランス制度導入のための技術的事項に係る検討を行うに当たり、第 28 回の放射線安全規制検討会において「クリアランス制度導入等に係る制度設計の基本方針(案)」(第 28 回放射線安全規制検討会資料第 28-3 号参照)が承認され、以下の基本方針で検討を進めることとした。

- ① 原子炉等規制法に準じたクリアランス制度の導入
 - ② 放射化物に対する安全規制の導入
 - ③ 廃止措置計画の届出化
- 等

基本方針の内容は以下のとおりである。なお、政省令・告示等に定める具体的な内容は、引き続き放射線安全規制検討会及びクリアランス WG で検討を進め、平成 22 年 11 月頃までに政省令・告示等整備に資するために必要な事項をとりまとめることとした。

2. 2. 1 原子炉等規制法に準じたクリアランス制度の導入

放射線障害防止法に導入するクリアランス制度は、以下のように、原子炉等規制法に準じた制度とする。

- 使用者等が行う放射能濃度の評価方法等について、あらかじめ認可をすること。
- 認可された方法に基づいて使用者が評価した放射能濃度等について、国又は登録機関が確認をすること。
- クリアランスされた物は、関係法令において放射性物質によって汚染された物ではないものとして扱うこと。
- 登録機関の登録基準及び登録機関に課する義務に関すること。

なお、設定するクリアランスの対象物については、コンクリート、金属、可燃物[焼却灰]等について検討することとし、これらの種類毎のクリアランスレベルの検討結果に有意な差が生じ、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、対象物の種類毎に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こととした。

また、具体的なクリアランス対象物の判断方法については、放射性同位元素や放射線発生装置の使用状況について調査を行い、特に、放射性同位元素を使用する施設等においては、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。)の発生実態等を踏まえたうえで、原子炉等規制法における判断方法に加え、放射線障害防止法独自の判断方法も検討し、採用していくこととした。

2. 2. 2 放射化物に対する安全規制の導入

現在、放射線障害防止法に位置付けられていない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。)について、「放射性同位元素によって汚染された物(放射線発生装置の使用に伴い生じた放射線を放出する同位元素によって汚染された物を含む。)」として、放射化物を放射線障害防止法に位置付けることとし、さら

にクリアランス制度も適用可能とする。なお、現在、放射化物の管理については、平成 10 年 10 月に旧科学技術庁原子力安全局放射線安全課長名により関係事業者に対してなされた通知「放射線発生装置使用施設における放射化物の取扱いについて」（以下、「平成 10 年度放射化物課長通知」という。）に基づき、安全管理上必要な措置が周知、徹底されている。

なお、省令・告示等に定める具体的な基準については、実態を踏まえて策定することが重要であるため、クリアランス WG（必要に応じて別途ワーキンググループを設置）において、事業者の意見を聴取しながら検討を進めることとした。

クリアランス WG において検討を行う主な事項は、次のとおりとした。

○ 放射化物の判断基準

放射化物の判断基準（放射化の有無、その程度に応じた取扱い区分）を、放射化物の管理実態、平成 10 年度放射化物課長通知におけるカテゴリー区分、「原子力施設における「放射性廃棄物でない廃棄物」の取扱いに関する報告書」（平成 19 年 10 月 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）等を参考にして検討する。

○ 放射化物の取扱い

使用・再使用・保管・廃棄等、放射化物の取扱い実態（液体・気体を含む）や放射線発生装置の規模・仕様を踏まえた検討を行う。

2. 2. 3 廃止措置計画の届出化

放射線障害防止法では、放射性同位元素の使用等を廃止したときは、廃止措置報告を 30 日以内に行うよう求めているが、廃止する施設の大規模化やクリアランス判断に必要な期間等を考慮し、現状の「30 日以内に廃止措置報告を求めること」を変更する。今後は、廃止届とともに廃止措置計画書を提出させることとし、廃止措置が終了した後に、その措置を報告させることとする。

2. 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、その内容（第 28 回放射線安全規制検討会資料第 28-5 号参照）が承認されており、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。以下に、放射線安全規制検討会で承認された基本方針を示す。

2. 3. 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、BSS⁴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、2. 3. 2 のとおりである。

この設定方針について、放射線安全規制検討会の議論を経て、クリアランスレベルの具体的な検討をクリアランス WG において行い、今般、試算値をとりまとめた。なお、引き続き、平成 22 年 11 月頃までに省令・告示等の整備に資するために必要な検討を行いたいと考えている。

2. 3. 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⁵を参考にし、BSS、RS-G-1.7、その他文献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: 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」(1996 年)

⁵: 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放射性廃棄物安全基準専門部会)

⁶: IAEA SRS No. 44 「Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance」(2005)、「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 月原子力安全委員会放射性廃棄物・廃止措置専門部会) 等

- (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エネルギーを調査した後、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し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、現実により得る埋設処分、再生利用・再使用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し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 $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 又は皮膚の等価線量 $50\text{mSv}/\text{年}$ 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。

2. 4 クリアランス判断方法の検討に関する基本方針

放射線安全規制検討会では、クリアランス判断方法に係ることとして、次の①、②の事項についてクリアランス WG を中心とした検討を行い、平成 18 年度中間報告書を取りまとめている。

- ① 放射線発生装置の使用に伴い生じた放射化物に対するクリアランスレベル以下であることの測定・判断方法
- ② 短半減期核種のみによって汚染された RI 汚染物に対する減衰保管廃棄の考え方

今回、放射線障害防止法にクリアランス制度を導入するにあたっては、クリアランス判断を実際に行うことが可能と考えられる当面の対象物を整理して、具体化を進める必要があり、第 28 回の放射線安全規制検討会で承認された判断方法に係る検討の基本方針（第 28 回放射線安全規制検討会資料第 28-4 号参照）を以下のとおりとする。なお、放射線障害防止法におけるクリアランス制度の導入のための基本方針に則り、放射線発生装置及び放射性同位元素の使用状況、並びに RI 汚染物の発生実態等を踏まえ、原子炉等規制法において既に適用されているクリアランス判断方法に加え、放射線障害防止法では対象物を限定しないととも放射線同位元素の物理的特性を踏まえた独自の判断方法の適用についても検討することとする。さらに、クリアランス判断方法の検討においては、クリアランス対象物を大きく放射化物と RI 汚染物の 2 つに種別し行うこととする。

なお、クリアランス判断にあたっては、当該事業者は、事前評価による対象物の分類、クリアランスレベル以下であることの判断、クリアランスレベル以下と判断した物への異物や汚染の混入を防止するための厳格な保管・管理、判断の妥当性を示す根拠の記録やその保存等を適切に行うとともに、これらが一連の業務として高い信頼性をもって機能するための管理体制（品質保証体制）を確立することが必要となると考えられるため、これらについても併せて検討を行うこととした。

2. 4. 1 放射化物について

平成 18 年度中間報告書に示された課題等を踏まえ、次のような検討を行うこととした。

(1) 検討内容

- ①：合理的なクリアランスの判断を行うため、まず放射化物の生成範囲に着目して放射線発生装置を以下の「②放射化の程度が小さい装置（医療用電子直線加速装置等）」及び「③放射化の程度が大きい装置（研究機関の大型加速器）」の二つに分類する。
- ②：放射化の程度が小さい装置（医療用電子直線加速装置等）について、装置及び施設構造物が放射化していないことやクリアランス適用可能であることが明らかであると判断できる技術基準の成立性を評価する。なお、技術基準の成立性の評価においては、装置や施設を仕様（加速粒子の種類、加速エネルギー、出力等）に基づき分類し、仕様ごとに個別の評価（特に実測）を伴わずに一律に判断可能かどうかを検討するとともに、放射化物がクリアランスレベル以下であることの評価に用いる重要核種をその分類に基づいて選定可能かどうか等について検討する。

- ③：②の対象とならない比較的放射化の程度が大きい装置については、施設毎に放射化状況が異なるため、クリアランス判断が必要とされる際に個別に評価されるものと考えられるが、必要に応じて汎用性のある事前評価から測定・判断に至るまでの方法の標準化等の検討を行う。

(2) 検討の進め方

- ①, ②：当面の検討対象とし、技術的事項であることからクリアランス WG において、
- ・放射線発生装置の分類とその妥当性
 - ・放射化物がクリアランスレベル以下であることの評価のために選定すべき重要核種、及びその選定の妥当性
 - ・装置及び施設構造物が放射化しないことやクリアランス適用可能であることが明らかである放射線発生装置の分類とその妥当性
- 等について検討を進める。平成 21 年 12 月頃までに法改正作業に資するためのとりまとめを行い、さらに平成 22 年 11 月頃までに省令・告示等整備に資するためのとりまとめを行う。
- ③：大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構（以下、「高エネ研」という。）等の比較的大きな加速器施設における解体計画の具体化等により、事業者からデータ提供を受けられる状況となることを前提として、必要に応じて技術的検討を行う。

2. 4. 2 RI 汚染物について

2. 4. 2. 1 半減期の短い核種を念頭においた減衰に基づくクリアランス判断

平成 18 年度中間報告書において減衰保管廃棄の技術的な成立性を確認しており、ニーズ調査の結果を踏まえて実際に制度化するための検討を次のとおり行うこととした。

(1) 検討内容

平成 18 年度中間報告書に示された内容を踏まえ、減衰に基づくクリアランス適用の考え方について、次の点に着目してより具体的な検討を進める。

- 対象核種の半減期、必要な減衰期間
- 短半減期核種のみによって汚染された廃棄物とする要件⁷
- 長半減期核種等との混在の可能性に応じた管理体制(品質保証体制)

(2) 検討の進め方

クリアランス WG においては、当面の検討対象のうち、技術的事項として、

- 半減期に基づきこの手法を適用する対象核種の選定
- クリアランス対象として選定した核種がクリアランスレベル以下になるために必

⁷: 短半減期核種のみを使用する事業所であることの他に、長半減期核種も使用する事業所において使用及び廃棄施設、作業室、保管廃棄設備等の状況により長半減期核種による汚染が混在していないと判断可能な設備要件

要な減衰期間に係る検討

- 核種の使用実態を踏まえ、他核種との混在を防ぐための適切な管理体制の検討
- 放射エネルギーを評価する補助的な測定手法の検討

等を行う。検討の結果については、法改正作業に資するためのとりまとめを行い、さらに平成 22 年 11 月頃までに省令・告示等整備に資するためのとりまとめを行う。

2. 4. 2. 2 半減期の長い核種を念頭においたクリアランス判断

クリアランス対象物に技術的に測定が困難な核種が含まれる場合、現実的な判断方法の現時点での確立は難しいと考えられることから、2. 4. 2. 1 の検討を優先しながら、適用可能な判断方法(例えば、RI 汚染物を発生する施設の種別分類等に基づき核種間の相関関係を得て代表核種の測定により放射能濃度を決定する方法等)について適宜検討を進めることとした。

(1) 検討内容

- RI 汚染物を発生する施設の種別分類(製薬系、生物系等)や発生状況(使用、解体等)などに基づき核種間の相関関係を評価
- クリアランスレベル以下であることを判断するための評価を行うべき代表核種の選定方法の検討

(2) 検討の進め方

2. 4. 2. 1 の判断方法に係る検討結果を考慮したうえで、クリアランス WG において、

- RI 汚染物を発生する施設の種別分類や発生状況に基づく核種間の相関関係に係る検討
- 代表核種の選定手法の検討
- クリアランスレベル以下であることの判断の妥当性の検討

等を行う。

2. 5 報告書の目的及び範囲

放射線安全規制検討会は、前述のとおり、放射線障害防止法へのクリアランス制度の導入計画を受け、平成 21 年 7 月にとりまとめた「クリアランス制度導入等に係る制度設計の基本方針」、「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」及び「クリアランス判断方法の検討に関する基本方針」を踏まえて、クリアランス WG において放射線障害防止法の改正に資する技術的検討を本格的に進めてきた。本報告書は、クリアランス WG におけるクリアランスレベルの設定、クリアランス判断方法、放射化物の取り扱い状況等に係る検討結果を踏まえ、クリアランス制度を導入するうえで必要な主要事項についてとりまとめたものである。

なお、引き続き、省令・告示等への技術基準やクリアランスレベルの規定に資するための検討を行うとともに、クリアランス制度の運用を開始するまでに、必要となる技術的検討事項についてもとりまとめる。

3. 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、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事項として、主にクリアランスレベルの算出について、第 28 回放射線安全規制検討会（平成 21 年 7 月 30 日）において示された「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
- 国際的なクリアランスレベルとの比較について

3. 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。

3. 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。

3. 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を算出した。

(1) 一括クリアランス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 3.1 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 3.2 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 9 回クリアランス WG 資料第 9-6 号添付資料 1-2 参照)、上記のような考え方に基づいて 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。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、RI 協会へ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。

3. 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 3.3 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。

3. 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

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。

3. 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 3.4 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 3.5 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が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 3.5 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 3.5 の E から J 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。

3. 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 3.6 に示すように、大規模施設については、表 3.5 の E から J 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 41,724.5 トン／年となることから、クリアランスレベルの算出に用いる物量を 42,000 トン／年とすることとした。また、小規模施設については、表 3.5 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／年となることから、クリアランスレベルの算出に用いる物量を 300 トン／年とすることとした。

3. 2 クリアランスレベルの算出について

3. 2. 1 クリアランスレベルを算出する対象核種の選定

3. 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 9 回クリアランス WG 資料第 9-6 号添付資料 2 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 に示された核種のクリアランスレベル (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⁸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 9 回クリアランス WG 資料第 9-6 号添付資料 2 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 使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 として、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）と比して、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

⁸：「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。

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能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。

3. 2. 1. 2 放射化物に係る対象核種の選定

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の選定については、基本的には原子炉で検討された核種の選定手順を参考にすることができると考えられる(第9回クリアランスWG資料第9-6号添付資料3-1、3-2参照)。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・構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構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構造物の放射化は、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、建家構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の選定手順を参考にすることができるものとする。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のみならず、速中性子反応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9回クリアランスWG資料第9-6号添付資料3-1、3-2参照)。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。

3. 2. 1. 3 クリアランスレベルを算出する対象核種の選定

上述の検討結果を踏まえ、表3.7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34核種を選定することとした。

なお、国内のRI使用施設では上記の53核種以外の核種がこれまでに扱われていること、及び今後新たな放射性同位元素の利用ニーズが想定されること、また、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上記の34核種以外の核種の発生が考えられることを考慮すると、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。

3. 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。

3. 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 3.1 に示すとともに、その選定の考え方を表 3.8 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。

3. 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 3.2 に示すとともに、その選定の考え方を表 3.9 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。

3. 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た。

その結果を図 3.3 に示すとともに、その選定の考え方を表 3.10 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含まれる経路を除いた 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。

3. 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熔融処理の評価経路に係る被ばく線量評価式を設定した。

3. 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、原子炉クリアランス報告書において用い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、原子力安全委員会がとりまとめた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。

(1) 埋立作業員（直接線・外部被ばく）

クリアランス後の廃棄物の埋立作業員に対する直接線の外部被ばく線量は、次式により求める。

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

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)
 $C_w(i) = C_{w0}(i) \cdot F_{wc}$
 $C_{w0}(i)$: 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)

なお、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。

(2) 埋立作業 (粉塵吸入による内部被ばく)

クリアランス後の廃棄物の埋立作業に対する粉塵吸入による内部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{inh}(i) = C_W(i) \cdot C_{dust} \cdot f_{dust,inh} \cdot B_o \cdot t_o \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots \dots \dots (2)$$

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)

(3) 埋立作業 (直接経口摂取による内部被ばく)

クリアランス後の廃棄物の埋立作業を行う作業者が汚染物質を直接経口摂取することによる内部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{direct}(i) = C_W(i) \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、

- $D_{direct}(i)$: 作業者における核種 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。ここでは、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、農耕作業者又は牧畜作業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。ここでは処分場跡地直上で栽培された農作物を摂取した者に対する評価式を示す。

(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。農作物中の核種の濃度は、次式により求める。

$$C_{vk}(i) = T_k(i) \cdot K_N \cdot C_W(i) \cdot \frac{W}{L_D \cdot W_D \cdot H_D \cdot \rho_D \cdot 10^6} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{dist}) \dots \dots \dots (4)$$

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)
	$C_W(i) = C_{WO}(i) \cdot F_{WC}$
	$C_{WO}(i)$: 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)

この土地で収穫された農作物を摂取することによる内部被ばく線量は、次式により求める。また、この経路は子どもについても評価する。

$$D_{ing,v}(i) = \sum_k C_{vk}(i) \cdot 10^3 \cdot Q_k \cdot G_k \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{vk}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots (5)$$

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、上式は以下のようなになる。

$$D_{ing,vk}(i) = \sum_k C_{vk}(i) \cdot 10^3 \cdot Q_k \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots (5')$$

【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す。

(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て、処分場からの核種の

漏出量を次式により求める。

$$J(t,i) = \eta_i \cdot C_w(i) \cdot W \cdot \exp\{-(\lambda_i + \eta_i) \cdot t\} \dots\dots\dots (6)$$

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、密度は一樣とし、 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。

$$\frac{\partial}{\partial t} R_s(i) \cdot C_{GW}(x,t,i) = D_x \cdot \frac{\partial^2 C_{GW}(x,t,i)}{\partial x^2} - U_s \cdot \frac{\partial C_{GW}(x,t,i)}{\partial x} \dots\dots\dots (7)$$

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

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、(7)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、(6)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

井戸水中の核種の濃度は、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て次式により求める。

$$C_{WW}(t, i) = C_{GW}(x_w, t, i) \cdot R_w \dots \dots \dots (8)$$

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て計算する。計算式を以下に示す。

$$C_{Sm}(t, i) = C_{WW}(t, i) \cdot R_{SW} \cdot 10^{-3} \cdot T_{Sm}(i) \dots \dots \dots (9)$$

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)

養殖淡水産物摂取による内部被ばく線量は、次式により求める。また、この経路は子どもについても評価する。

$$D_{ING}(t,i) = \sum_m C_{Sm}(t,i) \cdot Q_m \cdot G_m \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{Sm}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (10)$$

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 (μ Sv/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 (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 と選定しているので、上式は以下のようになる。

$$D_{ING}(t,i) = \sum_m C_{Sm}(t,i) \cdot Q_m \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (10')$$

3. 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、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

壁材等の建築材料となったコンクリート製品中の核種 i の濃度は、次式により求める。

$$C_{Cp}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_G \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \cdot F_{CC} \cdot F_{rc} \cdot \frac{F_g}{\rho_c} \dots \dots \dots (11)$$

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/cm³)

(2) 再利用コンクリート製品の使用に伴う外部被ばく

再利用コンクリート製品の使用に伴う外部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{ext,Cp}(i) = C_{Cp}(i) \cdot t_p \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (12)$$

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 (μSv/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 (μSv/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)

なお、外部被ばくに対する線量換算係数は、再利用されたコンクリート製品（線源）をそれぞれに応じた形状にモデル化し、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。

【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

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は、次式により求める。

$$D_{direct}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F'_{MC} \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (13)$$

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 (μSv/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)

【金属再利用】

この評価経路では、再利用された物品を職業的に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、金属の溶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) スラグの再利用に伴う外部被ばく

金属の溶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。

(1-1) 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中の核種*i*の濃度

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中の核種*i*の濃度は、次式により求める。

$$C_A(i) = C_{Ms}(i) \cdot F_{As} \dots\dots\dots (14)$$

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 (-)

(1-2) 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外部被ばく

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線量は、次式により求める。

$$D_{ext,O}(i) = C_A(i) \cdot t_u \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (15)$$

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)

なお、外部被ばくに対する線量換算係数は、再利用された金属製品(線源)をそれぞれ

れに応じた形状にモデル化し、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。

【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の評価式を示す。

(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

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は、次式により求める。

$$D_{ext,O}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_B \cdot F_{CC} \cdot S_O \cdot t_O \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (16)$$

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 (μSv/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 (μSv/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)

なお、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。

【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示す。

(1) 再使用に伴う外部被ばく

放射線発生装置使用施設で使用していた電源等を再使用する際の外部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{ext,u}(i) = C_{Mr}(i) \cdot t_u \cdot DF'_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (17)$$

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 ($\mu\text{ Sv/y}$)
 $C_{Mr}(i)$: 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 ($\mu\text{ Sv/h per Bq/g}$)
 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)

なお、上記の外部被ばくに係る換算係数については、再使用品を適切な形状にモデル化し、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。

3. 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。

【焼却処理施設の補修に伴う評価経路】

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を評価する。

(1) 焼却処理施設の補修作業（直接線・外部被ばく）

焼却炉の補修作業者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は、次式により求める。この評価式は、炉壁に付着した焼却灰の放射能による作業者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。

$$C_I(i) = \frac{C_{WO}(i) \cdot W_I \cdot 10^3 \cdot (1 - f_I(i)) \cdot f_{dw}}{S \cdot 10^4} \dots\dots\dots (18)$$

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）

焼却炉の補修作業者の外部被ばく線量は次式により求める。

$$D_{ext}(i) = C_I(i) \cdot S_O \cdot t_O \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (19)$$

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)

なお、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 により算出する。

(2) 焼却炉の補修作業者（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者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は、次式により求める。この評価式は、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。

$$C_A(i) = C_W(i) \cdot V_I \cdot F_{CI} \cdot (1 - f_I(i)) \dots\dots\dots (20)$$

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）

焼却炉の補修作業者の粉塵吸入による内部被ばく線量は次式により求める。

$$D_{inh}(i) = C_A(i) \cdot C_{dust} \cdot f_{dust,inh} \cdot B_O \cdot t_O \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots \dots \dots (21)$$

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/m³)
- $f_{dust,inh}$: 吸入する粉塵への濃縮係数 (—)
- B_O : 作業者の呼吸量 (m³/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)

【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者（積み下ろし作業者、運搬作業者、埋立作業者）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、次式により求める。

$$C_A(i) = C_W(i) \cdot V_I \cdot F_{CI} \cdot (1 - f_I(i)) \dots \dots \dots (22)$$

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 (—)

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。

$$C_A(i) = C_W(i) \dots \dots \dots (22')$$

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 (直接経口による内部被ばく)

焼却灰の積み下ろし作業及び埋立作業の直接経口摂取による内部被ばく線量は次式により求める。

$$D_{direct}(i) = C_A(i) \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_O \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (23)$$

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、溶融処理施設の補修作業者が被ばくする経路及び溶融炉からの排気により周辺の居住者が被ばくする経路について被ばく線量を評価する。ここでは、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。

(1) 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。

(1-1) 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、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。

$$C_{Air}(i) = \chi \cdot f_{AM}(i) \cdot R_{AM} \cdot F_{AM} \cdot C_A(i) \dots\dots\dots (24)$$

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)

(1-2) 飼料中の核種濃度

農作物（飼料）中の核種濃度は次式により求める。

$$C_{VF}(i) = \left[C_S(i) \cdot T_F(i) + V_g \cdot C_{Air}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_B} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_t \dots \dots \dots (25)$$

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 (—)

(1-3) 畜産物中の核種濃度

畜産物中の核種濃度は次式により求める。

$$C_{Fn}(i) = T_n(i) \cdot M_F \cdot C_{VF}(i) \cdot Q_{vn} \dots \dots \dots (26)$$

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)

(1-4) 溶融炉周辺の畜産物摂取者（経口摂取による内部被ばく）

畜産物を摂取することによる内部被ばく線量は次式により求める。

$$D_{ing,F}(i) = \sum_n C_{Fn}(i) \cdot Q_n \cdot G_n \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{Fn}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (27)$$

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 (1/y)
 $\lambda_i = \ln 2 / T_{1/2}(i)$
 $T_{1/2}(i)$: 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 と選定しているの、上式は以下のようになる。

$$D_{ing,F}(i) = \sum_n C_{Fn}(i) \cdot Q_n \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (26')$$

【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

溶融固化物中の核種濃度は、次式により求める。

$$C_{AM}(i) = C_A(i) \cdot V_{AM} \cdot F_{AM} \cdot (1 - f_{AM}(i)) \dots\dots\dots (28)$$

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）

外部被ばく線量は次式により求める。

$$D_{ext}(i) = C_{AM}(i) \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (29)$$

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 ($\mu\text{Sv/y}$)
$C_{AM}(i)$:	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 ($\mu\text{Sv/h per Bq/g}$)
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)

なお、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 により算出する。

3. 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、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に示された「評価パラメータは、現実的に起こりえると想定されるシナリオを対象とすることとし、社会環境、日常生活の態様等を考慮して標準的である人を対象として現実的と考えられる値を評価パラメータとして選定する」とした評価パラメータの選定の考え方に基づき基本的に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た。

今回のクリアランスレベルの算出で使用された評価パラメータを表 3.11 から表 3.14 に示す。

○埋設処分の評価経路に係る核種に依存しないパラメータ：表 3.11

○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 3.12

○元素依存の評価パラメータ：表 3.13

○核種依存の評価パラメータ：表 3.14

ただし、これらのパラメータの中で、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た。

また、焼却処理に係る評価パラメータで核種に依存しないパラメータ、核種に依存するパラメータ及び元素に依存するパラメータについては、今回新たに設定した評価パラメータが多く、それぞれ、表 3.15、表 3.16、表 3.17 及び表 3.18 に示す。

3. 2. 5 クリアランスレベルの算出結果

(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 3. 19 及び表 3. 20 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、再利用・再利用に係るクリアランスレベルの算出の結果を表 3. 21 及び表 3. 22 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。

3. 3 国際的なクリアランスレベルとの比較及び考察

3. 3. 1 国際的なクリアランスレベルとの比較

本検討で算出した RI 汚染物及び放射化物のクリアランスレベルについては、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 IAEA Safety Report Series No. 44（以下、「SRS No. 44」という。）で算出されている計算値（以下、「RS-G-1.7 の計算値」という。）との比較を行った。

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核種のクリアランスレベルは、I-125 については RS-G-1.7 の計算値との比率が 0.1 をわずかに下回ったものの、約 0.1 の結果となり、F-18、Ca-45、Y-90、Tc-99m 及び Cd-109 については RS-G-1.7 の計算値との比率が 100 を超える結果となった。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、RS-G-1.7 の計算値との比率が 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全ての核種のクリアランスレベルは、RS-G-1.7 の計算値との比率が 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、RS-G-1.7 の計算値との比率が 10 を超える結果となった。

3. 3. 2 RS-G-1.7 の計算値との比較の結果に係る考察

3. 3. 1 に示した RS-G-1.7 の計算値との比較において、RI 汚染物が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 RS-G-1.7 の計算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、RS-G-1.7 の計算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。

3. 3. 2. 1 今回の算出結果が RS-G-1.7 の計算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、単位：Bq/g）が、RS-G-1.7 の計算値（Bq/g）より低くなった核種は、放射化物（大規模施設）では Cl-36、Ni-59、Hg-203 であり、一方、RI 汚染物（一括クリアランス）では I-125 の計 4 核種である。その理由の考察を以下に示す。

(1) 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おり、これらの点が、Cl-36 の試算結果が RS-G-1.7 の計算値を下回る理由であると考えられる。

(2) 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 の試算結果が RS-G-1.7 の計算値を下回ったと考えられる。

（３）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員の被ばく」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 の試算結果が RS-G-1.7 の計算値を下回る理由は、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。

（４）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、鑄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 については、Cl-36 と比べて焼却灰の熔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、これらの三つの核種の中で、I-125 だけが RS-G-1.7 の計算値を下回ったものとする。

（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。

なお、これらの核種に関する本検討の試算結果と RS-G-1.7 の計算値の比は、概ね 1 桁以内の範囲にあり、「再評価報告書」における以下の記述が、本検討の試算結果に対しても当てはまるものと考えられ、RS-G-1.7 の計算値との間には有意な差はないものと認められる。

【再評価報告書より抜粋】

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。

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。

3. 3. 2. 2 今回の算出結果が RS-G-1.7 の計算値より 2 桁以上大きくなった核種について

表 3.19 に示すとおり、F-18、Ga-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 RS-G-1.7 の計算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 $10 \mu\text{Sv/年}$ 、RS-G-1.7 の低頻度シナリオでは 1mSv/

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RS-G-1.7の計算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： 3.5×10^{-12} Sv/年、農作物摂取： 1.3×10^{-7} Sv/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RS-G-1.7の計算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(土壌への収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RS-G-1.7の計算値に比べて値が大きくなったものと考えられる。

(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RS-G-1.7の計算値よりも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。

3. 4 決定論的な方法による算出結果を踏まえたクリアランスレベルの設定について

今回、放射線障害防止法へのクリアランス制度の導入に伴い、告示に定めるクリアランスレベルの設定に係る検討として、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原子炉施設や核燃料使用施設に係るクリアランスレベルを算出するために用いた埋設処分、再利用・再使用の評価経路、計算モデル及び評価パラメータを参考にするとともに、新たに焼却処理に係る評価経路、計算モデル及び評価パラメータを検討してクリアランスレベルを算出した。また、算出に当たっては、RI 汚染物及び放射化物に起因して現実的に起こりえ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を求めた。

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と、RS-G-1.7 の計算値を比較すると、核種によっては値の大小関係はあるが、大部分の核種について概ね 1 桁以内となっており、両者の値はほぼ同等であると言える。また、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クリアランスレベルの値が常に低く、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クリアランスレベルの値が常に低くなっていることを確認した。

以上のことから、告示に定めるクリアランスレベルとしては、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、IAEA において示されている RS-G-1.7 のクリアランスレベルを採用することが適切であると考ええる。

なお、本検討で選定された核種のうち、RS-G-1.7 にクリアランスレベルが定められていない核種（表 3.7 を参照）については、今回のクリアランスレベルの算出結果を基に原子力安全委員会^{(2), (3), (5)-(7)}や IAEA⁽⁸⁾⁻⁽¹⁰⁾考え方を参考にしつつ値を定めることが適切であると考ええる。

4. 放射線障害防止法へのクリアランス制度の導入に伴う政省令・告示等の制定に向けた今後の技術的検討事項

4. 1 クリアランスレベルの設定に係る検討事項

4. 1. 1 クリアランスレベルの算出に用いたシナリオ等の妥当性評価

クリアランス WG では、「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検討を行ってきた。

その結果、クリアランスレベルは、3章に示したとおり、RI 汚染物及び放射化物がクリアランスされた後に埋設処分、再利用・再使用及び焼却処理される場合の評価経路、評価モデルに対して、現実的と考えられる評価パラメータを用いて算出した。

告示に規定するクリアランスレベルを設定するためには、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行ったパラメータ、シナリオ等の妥当性評価を行う必要があるため、シナリオ等の妥当性評価の手順に関して、今後のクリアランス WG における検討の進め方を以下に示す。

4. 1. 1. 1 シナリオ等の妥当性評価の目的及び方法について

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う。

(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保守的、かつ、適切な選定となっていることを確認する。

○ 評価の方法

図 4.1 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 $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$ 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⁹ (以下、「97.5%下限値」) ($P=0.025$)

⁹: 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。

の間の範囲にあるかどうかを確認する。

(2) シナリオ（評価パラメータ及び評価経路）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、評価パラメータ及び評価経路を組み合わせて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、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 $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 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、「 $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ を著しく超えないめやす線量」として「 $100\mu\text{Sv}/\text{年}$ 」が用いられていることから、今回の評価では、97.5%下限値の最小値の濃度を 10 倍した $100\mu\text{Sv}/\text{年}$ 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（ $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 相当濃度）とを比較し、クリアランスレベル（ $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 相当濃度）の方が $100\mu\text{Sv}/\text{年}$ 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。

4. 1. 1. 2 クリアランスレベルの算出に用いたシナリオ等の妥当性評価に係る手順

(1) 確率論的解析を行う対象とする核種の選定

今回、確率論的解析の対象とする核種の選定は、以下に示す点を考慮して行う。

○ 放射化物に係る核種

「3. 2. 1. 2の(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」を参照し、確率論的解析の対象とする核種の選定を行う。

選定にあたっては、放射線発生装置及びその使用施設で用いられている構成材料の成分を基に評価された放射化に伴う核種の放射能濃度(D)と決定論的な方法により算出したクリアランスレベル(C)との比(D/C)を求め、最大値(D/C)_{max}となる核種を主要核種とし、その他の核種の(D/C)と主要核種の(D/C)_{max}の比[(D/C)/(D/C)_{max}]の値が小数点以下2桁目までの範囲に含まれる核種の中から確率論的解析の対象とする核種を選定する。

○ RI 汚染物に係る核種

確率論的解析の対象とする核種は、我が国における販売量が上位になる核種の中から、核種の特性を考慮して選定する。

(2) 確率論的解析を行う対象経路の抽出

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三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 4.1 を参照)

○ 核燃料使用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 4.1 を参照)

(3) 評価パラメータの分布型・分布幅の設定

(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。

- ・放射化物及び 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

(4) 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

確率論的解析を行い、決定論的な方法により算出したクリアランスレベルの妥当性について評価した結果、以下の二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

前述の(2)で抽出した三つの評価経路の中で、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。

これらの項目を確認した後に、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。

(5) 確率論的解析結果についての整理

確率論的解析の対象として選定した全ての核種及び抽出した全ての重要な評価経路について、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た評価パラメータの妥当性確認を行う。

4. 2 放射化物に係る今後の検討事項

4. 2. 1 放射化物としての規制を必要としない放射線発生装置の種類に係る検討

クリアランス WG においては、文部科学省が委託調査として高エネ研に委託した放射化物に関する調査の結果及び社団法人日本放射線技術学会からの報告を踏まえて、放射化物としての規制を必要としない放射線発生装置の種類等に係る検討を行い、今後、政省令・告示を制定するために必要な検討事項についてとりまとめた結果を以下に示す。

4. 2. 1. 1 国内における放射線発生装置の設置状況

放射線利用統計(2008年)によれば、表4.2に示すように、我が国に設置されている放射線発生装置は1400台を超える状況にある。このうち、医療機関に設置されているものが約1,000台(約7割)を占めており、主な医療用の放射線発生装置としては、放射線治療を目的とした直線加速装置が890台(このうち数台だけが陽子などの粒子を加速するものであり、ほとんどは電子を加速するものである。)、PET核種製造用小型サイクロトロンが130台となっている。これらの装置は使用方法が定式化されているため、典型的な施設を抽出し、その装置で発生する放射化の状況の把握が可能であると考えられる。このため、国内に設置されている放射線発生装置の放射化の状況等を把握することを目的に放射線発生装置使用者に対してアンケート調査及び中性子線等の線量測定を実施し、その結果等を踏まえ、放射線治療用電子直線加速装置及びPET核種製造用小型サイクロトロン等の使用に伴って発生する放射化物に関する検討を行った。

4. 2. 1. 2 放射線治療用直線加速装置について

放射線治療用直線加速装置使用施設については、アンケート調査の結果740施設(装置数874台)から回答が得られ、発生X線の最大エネルギーで分類した設置台数を図4.3に示す。X線のエネルギーが10MeVの放射線発生装置の台数が最も多く、全体の65%を占めている。次に10MeV未満の放射線発生装置が31%を占め、10MeVを超えるものは4%を占めていた。また、アンケート調査結果によると、図4.4に示すように各施設の実際の運転時間は許可時間の20~30%程度であることから、放射線発生装置の使用に伴って発生する放射化に関する評価にあたっては実際の運転時間の考慮の必要性について今後検討が必要である。なお、放射線治療用直線加速装置は治療の高精度化のための技術が進んでおり、平均10年程度で装置が更新されているが、建家は継続して使用されることが多い。

現地調査では、実際の放射線治療で汎用されている6、10、15及び18MeVの装置に着目し、放射化の発生の主な原因となる中性子及びX線の線量についての実測及び計算による評価を実施した。

放射線治療用直線加速装置について、空間線量率の測定結果及び中性子発生量の測定結果をX線最大エネルギー毎に分類して、表4.3及び表4.4にそれぞれまとめた。

空間線量率については、6MeVの装置では運転終了直後において室内、発生装置ともにバックグラウンドレベルであった。また、10MeVの装置では運転終了直後においてビーム取り出し用の照射窓でバックグラウンドレベルの3倍程度であり、ターゲット直下の床面においてバックグラウンドレベルの2倍程度の空間線量率となったが、約半日後に

バックグラウンドレベルまで減少した。さらに、15MeV の装置では運転終了直後においてリニアック室内の空間線量率が高くなっており、ターゲット直下で $1.1 \mu\text{Sv/h}$ 程度であり、約 1 日経過後において半分に減少したが、バックグラウンドレベルと比較した場合には高い値となった。

中性子発生量については、6MeV の装置では金箔を用いた放射化法では中性子発生は検出できなかった。また、10MeV の装置では運転時に熱中性子が $10^3\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、熱外中性子が $10^2\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ オーダーで発生した。さらに、15MeV、18MeV の装置では更に 1 桁以上の中性子が発生する事が明らかとなった。しかし、国内の 15MeV、18MeV の装置のほとんどが 6MeV 又は 10MeV のエネルギーでの照射も行える装置であり、治療対象に応じてエネルギーが選択されており、6MeV 又は 10MeV として使用される時間に比べて、15MeV 又は 18MeV として使用される時間は少ないことが明らかとなった。これらのことから、15MeV 及び 18MeV の装置では、これらのエネルギーでの運転時間を考慮して放射化量を評価する必要があると考える。

次に、X 線の最大エネルギー 6MeV、10MeV、15MeV での放射化物の発生状況を表 4.5 に示す。6MeV の装置では放射化は認められなかった。10MeV の装置では、運転終了直後のターゲットにおいて放射化が認められたが、長期に保管したターゲットでは放射能は検出されなかった。また、ターゲット直下のステンレス製ビスにおいてごく微量の Co-60 が検出されたが、その濃度は RS-G-1.7 の値の 1/6 程度であった。なお、床及び壁のコンクリートについては、放射化は認められなかった。

さらに、15MeV の装置ではターゲットやその周辺部であるコリメータなどにも放射化が広がっていることが確認された。これらの実測結果は、実際の運転記録や、X 線発生ターゲット周辺部の遮へい構造の詳細な実測値を用いることにより、モンテカルロ法によっても再現できることが確認されている。この計算結果では、ターゲット周辺部において RS-G-1.7 の値を超える可能性があることが明らかになった。一方、ターゲット直下の床面のコンクリートでは、実測及び計算結果ともに、Co-60、Eu-152 で 10^{-3}Bq/g 程度であり、最大で RS-G-1.7 の 1/50 以下となっていることが明らかになった。

平成 10 年度放射化課長通知では、最大加速エネルギーが 6MeV 未満の電子直線加速器を使用する施設では、放射化物はほとんど生成されないため、当該通知の対象外として扱ってきたが、今回の検討によってその妥当性が検証された。今後は、実測による結果も参考にしながら、クリアランスレベルを超える X 線の最大エネルギーの設定とその放射化の範囲を確定するための評価判断方法について検討を行う必要があると考える。

これまでの調査結果等を踏まえ、今後、政省令・告示等を制定するためには、以下に示す事項について確認又は検討を行っておく必要がある。

- ① 6MeV 以下の放射線治療用直線加速装置は、放射化が発生しないものとして区分する。
- ② 10MeV の放射線治療用直線加速装置では、有為な放射化が認められたのはターゲットだけであった。このことから、6MeV を超え 10MeV 以下の放射線治療用直線加速装置では、ターゲットを分離し、クリアランス対象物又は放射性廃棄物として扱うこととする。これら以外の金属部品やコンクリートについては放射化が発生していないものとして区分することを検討する。
- ③ 15MeV や 18MeV のように、10MeV を超える X 線最大エネルギーを発生させる放射線

治療用直線加速装置については、ターゲット周辺部では明らかに RS-G-1.7 を超える放射化物が発生する可能性があることから、放射化領域を測定評価し、放射化物として取り扱うべき範囲を検討する。金属部品以外のコンクリートについては放射化が発生していないものとして区分することを検討する。

4. 2. 1. 3 PET 核種製造用小型サイクロトロンについて

PET 診断に用いる核種の製造に使用されているサイクロトロンは、2003 年以降急速に普及したものであるが、現在は増加傾向にはない状況である。新しい装置は、負イオン加速のものになっており、ターゲット周辺部以外の放射化の程度は少なくなっている。しかし、運転時の中性子発生量は、主に核種の製造数量に依存しており、加速エネルギーや装置による差異は殆ど無いといえる。最近では、図 4.5 に示すように自己遮へい体を設置した装置が増加しており、自己遮へい体の有無によって、周辺部の放射化状況に大きな差があることが明らかとなった。自己遮へい体の遮へい能力について調査した結果、遮へい体の外側では、中性子はほとんど検出されていない状況であり、遮へい体で十分な遮へいが達成されていることが確認されている。

以上の結果、自己遮へい体の外側での放射化は RS-G-1.7 と比較して、十分無視できるレベルであることから、自己遮へい体を設置した装置の外側では放射化はないと判断できる。

一方、自己遮へい体の内部及び自己遮へい体の無いサイクロトロンの使用室内は、二次的に発生する中性子によって RS-G-1.7 を超える放射化が発生している状況であった。また、運転時の中性子発生量は、ターゲットの近傍で $10^7 \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、使用室内で $10^5 \sim 10^6 \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ のオーダーであった。このため、サイクロトロン電磁石表層、使用室の床、壁、天井部の表層コンクリートでは、RS-G-1.7 で定められた濃度を超える可能性がある。

したがって、自己遮へい体の内部及び自己遮へい体の無いサイクロトロンについては、RS-G-1.7 と比較して無視できない放射化が発生すると判断されるため、放射化物としての対象範囲を確定するための評価判断方法について検討を進める必要があると考える。

4. 2. 1. 4 政省令・告示等を制定するために必要な検討事項

今後、放射化物を規制の対象として法令に位置づけることから、その具体的な基準を政省令・告示等へ制定するために必要となる検討事項を以下に示す。

○平成 10 年度放射化物課長通知では、6MeV 未満の電子加速器については、放射化は考慮の対象外として扱ってきたが、その妥当性は確認できた。今後は、このエネルギーを超える電子加速器に関して、新たに設定されるクリアランスレベルを超える放射化が起こる X 線最大エネルギーの設定とその放射化の範囲を確定するための評価判断方法

○PET 核種製造用小型サイクロトロンについては、自己遮へい体の内部及び自己遮へい体の無いサイクロトロンについて、放射化物としての対象範囲を確定するための評価判断方法

○粒子線治療用の加速装置の使用施設、放射光発生用の電子シンクロトロンの使用施設、分析用等のファン・デ・グラーフ型加速装置などにおける放射化の発生状況に

係る調査・検討

4. 3 クリアランス判断方法に係る検討

4. 3. 1 検討の目的

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進めるうえで、放射線安全規制検討会でとりまとめた「クリアランス制度導入等に係る制度設計の基本方針」において、「クリアランス対象物の判断方法については、放射性同位元素や放射線発生装置の使用状況、RI 汚染物や放射化物の発生実態等を踏まえ、原子炉等規制法における判断方法に加え、放射線障害防止法独自の判断方法も検討し、採用していくこととする。」ということを確認した。

放射線障害防止法におけるクリアランス対象物としては、放射線発生装置やその使用施設の解体等に伴い発生する金属やコンクリート、また、放射性同位元素の使用等や放射性同位元素使用施設の解体に伴い発生する金属、コンクリート、可燃物（焼却灰を含む）が考えられる。原子炉等規制法においては、平成 17 年にクリアランス制度が導入されたことに伴い、原子炉等で使用された後に放射化や核燃料物質による汚染が生じた金属やコンクリートに対するクリアランス検認（放射能濃度の測定・評価方法）の考え方⁽¹¹⁾が確立され、クリアランス制度の適切な運用に至っている。また、社団法人日本原子力学会はクリアランスにおける評価対象核種濃度の測定・評価方法及びクリアランス判断に係る学会標準「クリアランス判断方法：2005」¹⁰をとりまとめており、原子炉施設を対象としたクリアランスを行う事業者は国に対して放射能濃度の測定・判断方法の認可を申請する場合に、必要に応じてこの学会標準を参考に測定・判断方法の検討を行っている。この学会標準は、研究炉を含む原子炉施設の運転及び廃止措置に伴い発生する廃棄物等のうち固体状物質（金属、コンクリート等）について、クリアランスレベル以下であることを判断する方法を述べているものであり、その考え方は、放射線障害防止法において放射線発生装置使用施設を解体した場合に発生する金属、コンクリートの放射化物に対しても適応することが可能であると考えられる。

また、平成 18 年度中間報告書において、減衰保管廃棄の技術的な成立性を確認している。ただし、半減期の長い核種を念頭においたクリアランス判断については、クリアランス制度として適用可能であるが、測定が困難な核種が含まれる場合、現実的な判断方法の現時点での確立は難しいと考えられることから、半減期の短い核種を念頭においた減衰に基づくクリアランス判断に係る検討を優先することとしている。

以上のように、クリアランス判断方法については、既に原子炉等規制法で用いられている方法や、これまでのクリアランス WG で確認できている方法もあるが、放射線障害防止法で特有の技術的な検討事項が残っており、今後検討を行わなければならない技術的事項として以下にとりまとめた。ただし、それぞれの技術的事項については、技術基準として政省令・告示等に規定すべき事項、又は標準として関連学協会の規格等に定めるべき事項に区別して検討を行う必要があると考える。

4. 3. 2 クリアランス判断にあたって

クリアランス判断にあたっては、当該事業者は、事前評価による対象物の分類、クリ

¹⁰: 社団法人 日本原子力学会、「クリアランス判断方法：2005（日本原子力学会標準）」、2005 年 7 月

アランスレベル以下であることの判断、クリアランスレベル以下と判断した物への異物や汚染の混入を防止するための厳格な保管・管理、判断の妥当性を示す根拠の記録やその保存等を適切に行うとともに、これらが一連の業務として高い信頼性をもって機能するための管理体制(品質保証体制)を確立することが必要となると考えられる。

また、原子力安全・保安院では、原子炉等規制法に基づき定められている「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第61条の2第4項に規定する製錬事業者等における工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度についての確認等に関する規則」(以下、「放射能濃度確認規則」という。)の適用にあたって留意すべき事項として、「放射能濃度の分布の均一性」について触れており、放射能濃度確認においては、「測定単位として測定されたそれぞれの測定単位ごとの放射能濃度に著しい偏りがないことを確認すること。」とされている。さらに、原子力安全委員会においてとりまとめられた再評価報告書においても、「クリアランスレベルの制度化にあたっての留意事項」として、クリアランス対象物の平均放射能濃度及び放射能濃度のばらつきに係る考え方が示されている。これらの留意事項を踏まえ、RI汚染物の放射能濃度確認におけるクリアランス対象物の放射能濃度分布の取り扱いについても十分な検討を進める必要がある。

4. 3. 3 検討しなければならない技術的事項

4. 3. 3. 1 RI汚染物の放射能濃度確認

各種測定機器を用いたRI汚染物の放射能濃度確認の考え方は、原則として、原子炉等規制法の下で運用されている放射能濃度確認の手順に準ずるものとする。

ただし、放射化物の放射能濃度確認が原子炉等規制法の放射能濃度確認と同様の考え方を適用できる一方で、RI汚染物の放射能濃度確認においては、測定単位ごとの放射能濃度の分布の均一性の確保、及び放射化物の放射能濃度評価の際に用いることのできる核種組成比を考慮した主要核種測定法の適用が困難であるなど、検討を行わなければならない技術的事項がある。そのため、今後、政省令・告示等の規定に向けて、以下に示すような技術的事項について検討を行う必要があると考える。

○放射能濃度の測定対象物の性状に対する考慮

- ・クリアランス対象物の性状に応じた測定方法、評価単位の検討
(可燃物、焼却灰等)

○放射能濃度の測定方法に係る検討

- ・RI汚染物、放射化物の特徴を考慮した測定方法
- ・サンプリング〔標本抽出・抜き取り〕の考え方・基準の整備
(国内外の基準等を参照)
- ・測定方法の規格化・標準化
- ・測定項目の設定(総量、濃度、線量)
- ・クリアランスレベルに応じた測定のあり方の検討
- ・RI汚染物の特徴を考慮した測定機器の選択
(使用する測定機器の測定下限値・精度、測定機器の校正、核種に応じた測定機器の選択)

- ・実測によらない放射能濃度評価の可能性の検討
(使用や保管の記録からの計算で検認することができるか検討。)
- 放射能濃度の評価単位に係る検討
 - ・クリアランス対象物の性状、クリアランス対象施設の規模に応じた評価単位の設定
- 放射能濃度分布の均一性の確保に係る検討
 - ・放射能濃度分布の均一性に係る考え方の検討
 - ・分布の均一性確保の必要性を要求する評価単位の区分
(クリアランス対象物の申請物量が少量の場合に「均一性」を要求する必要があるかどうか検討)
- 測定対象核種の選定方法に係る検討
 - ・RI 使用施設の特徴に応じた区分のモデル化
 - ・測定における重要核種の抽出
 - ・使用履歴に基づく測定対象核種の選定
 - ・放射性発生装置の仕様、同使用施設の規模に応じた測定対象核種の選定
- 測定の記録
 - ・記録項目、記録の保存期間に関する規定

4. 3. 3. 2 核種の減衰に基づく RI 汚染物のクリアランス判断

平成 18 年度中間報告書において、RI 汚染物のうち、半減期の短い核種のみによって汚染された RI 汚染物については、一定期間保管し、かつ、半減期の短い核種以外の核種の混入を防止するように適切に管理すれば、RI 汚染物に含まれる半減期の短い核種の放射能が減衰し、放射性物質として扱う必要のないレベルになるとの検討結果がとりまとめられた。すなわち、クリアランスの対象となる RI 汚染物に含まれる核種が限定でき、告示等に規定することとなるクリアランスレベル以下になるように、保管を開始する時点における RI 汚染物の放射能濃度を一定濃度以下に確実に管理することができ、一定期間保管させることができれば、これらの RI 汚染物は一定期間保管された後に放射性物質によって汚染された物でないものとして扱うことが可能となる。しかしながら、半減期に基づきこの判断を適用できる核種の選定、及び他の核種の混入を防止する管理体制の確立など検討を行わなければならない事項は多い。今後、政省令・告示等の規定に向けて、以下に示すような技術的事項について検討を行う必要があると考える。

- この手法を適用する対象核種の選定の考え方
 - ・選定する核種の半減期の上限の設定
(平成 18 年度中間報告書における議論に基づき、半減期が 30 日以下、60 日以下又は 90 日以下の条件を選択)
 - ・核種の使用(流通)の実態を考慮した設定
- クリアランス対象として選定した核種がクリアランスレベル以下になるために必要な減衰期間の設定
 - ・それぞれの核種の測定の容易さ等と保管期間の兼ね合いから保管期間を設定
- 評価対象物の放射能濃度がクリアランスレベル以下になっていることを担保するための放射能濃度測定

- ・ 保管開始時点におけるクリアランス対象物の放射能濃度測定
- ・ クリアランス判断時における抜取りによる測定
- ・ 実測によらない放射能濃度評価

(使用や保管の記録からの計算による検認の可能性について検討)

○核種の使用実態を踏まえ、他核種との混在を防ぐための適切な管理体制

【ハード面】

- ・ 半減期の短い核種のための許可事業者
- ・ 半減期の短い核種、長い核種それぞれを使用する施設の分類
- ・ 半減期の短い核種を使用する専用施設の設置
- ・ 半減期の短い核種を使用する専用の作業室の設置 等

【ソフト面】

- ・ クリアランスを念頭においた使用記録の手法と保管
- ・ 予防規程の整備 等

○クリアランス判断に係る審査、確認の項目

- ・ クリアランス対象となる核種、その保管期間に係る情報
(核種の使用記録等に基づく)
- ・ クリアランスレベル以下であることを検認する方法
- ・ 検認する方法に従った検認が実施されたことを証明する記録

5. おわりに

クリアランス WG では、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、RI 汚染物及び放射化物を対象に、これらが埋設処分、再利用・再使用及び焼却処理される際に安全規制を行ううえで重要なクリアランスレベルの設定及びクリアランス判断方法並びに放射化物としての規制を必要としない放射線発生装置の種類について検討を行ってきた。これらの検討は、平成 21 年 6 月より開始され、特に、クリアランスレベルの設定及びクリアランス判断方法に係る検討は、平成 21 年 7 月に放射線安全規制検討会でとりまとめられた基本方針を踏まえて行った。

クリアランスレベルの設定に関しては、RI 汚染物及び放射化物の埋設処分、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い、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を算出した。算出したクリアランスレベルについては、RS-G-1.7 の計算値と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 のクリアランスレベルを取り入れることが適切であると考えられる。ただし、告示を定めるためには、今回のクリアランスレベルの算出に用いたシナリオや評価パラメータの妥当性について今後十分に確認しておく必要がある。

放射化物としての規制を必要としない放射線発生装置の種類に関しては、現状での国内の放射線発生装置使用施設における放射化物の発生状況について高エネ研及び医療関係機関等からのヒアリングを行い、放射化物のクリアランス等に向けて安全規制上必要となる今後の検討事項をとりまとめた。

クリアランス判断方法に関しては、既に運用されている原子炉等規制法の金属、コンクリート等を対象としたクリアランスの検認（放射能濃度の測定・評価方法）の考え方が、放射線障害防止法におけるクリアランス対象物に対しても基本的に適用することが可能であると考えられる。しかしながら、放射線障害防止法においては、コンクリートや金属に加えて新たに可燃物（焼却灰）等についてもクリアランスの対象物とすること、また、半減期が短い核種を念頭においた放射能の減衰に基づく運用を検討していることから、今後、告示にクリアランスレベルを定めるまでに必要な技術的事項をとりまとめた。

以上の検討結果を踏まえ、今後、政省令・告示を制定するために必要なクリアランスレベルの設定、クリアランス判断に係る技術基準、放射化物の区分範囲などに関する検討を引き続きクリアランス WG において進めることとする。

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) : 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）
- (4) : 放射線審議会基本部会、「資料第 31-2-1 号：放射線審議会基本部会報告「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（案）」（第 31 回基本部会資料）」、平成 21 年 8 月 20 日
- (5) : 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
- (6) : 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
- (7) : 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
- (8) : 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）
- (9) : 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）
- (10) : 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）
- (11) : 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

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 8 日 現在)

- 飯本 武 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
上菘 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)

検討会の開催日

- 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