

- ① 第28回放射線安全規制検討会（平成21年7月30日）
資料第28-5号「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

平成 21 年 7 月 30 日
放射線規制室

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の資料第 18-4-1 号によると、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*1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する。計算から設定までの手順は、2. のとおりである。

この基本方針について、放射線安全規制検討会の議論を得て、クリアランスレベルの具体的な検討をクリアランス WG において行うこととする。その後、クリアランス WG における検討状況を随時確認しながら放射線安全規制検討会において本年 12 月頃を目標としてまず試算値をとりまとめ、さらに平成 22 年 11 月頃までに省令・告示等の整備に資するためのとりまとめを行いたいと考えている。

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*2を参考にし、BSS や RS-G-1.7*3その他文献*4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。

*1 国際原子力機関(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)

*2 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)

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

*4 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

- (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、以下のとおりである。

(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。

なお、放射線障害防止法におけるクリアランス制度では、固体の RI 汚染物の種類について制限は設けない方針であり、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、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や原子炉施設での計算時に対象としていない可燃物や難燃物等も考慮する。また、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。

(2)評価経路及び計算モデルの設定

対象とする RI 汚染物に起因して、現実には起こり得る再生利用・再使用・処分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クリアランスする場合と廃棄業者が集荷して一括クリアランスする場合など 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、原子炉施設での計算時に含めていない焼却処理も考慮する。

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。

(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。

- 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

適切な計算コード等を使用し、各核種について評価経路毎の基準線量相当濃度(線量評価 $10 \mu \text{Sv}/\text{年}$ に相当する放射性核種濃度)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 汚染物のクリアランスレベルとする。

(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 汚染物のクリアランスレベルの妥当性を評価する。

(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、放射線発生装置の解体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する。

3. BSS と RS-G-1.7 における免除レベル(クリアランスレベル)の比較

放射線障害防止法におけるクリアランスレベルの設定では、原子炉施設を対象とした場合との相違点として、小規模な事業所で発生する RI 汚染物を個別にクリアランスする場合等を想定したときの小さい物量に基づく計算も行うことが挙げられる。

そこで、設定物量の大小の相違による導出事例として、BSS と RS-G-1.7 における免除レベル(クリアランスレベル)の比較を下表に示す。また、免除とクリア

ランスの概念整理を別添に示す。

	BSS	RS-G-1.7
適用範囲	中位(多くても 1 トン)の量への適用に限定した免除レベル	大量のものを想定した免除レベルであり、クリアランスレベルとしても適用可能
示された値	放射エネルギー(Bq)、放射能濃度(Bq/g)	放射能濃度(Bq/g)
評価シナリオの前提条件	少量の放射性物質の産業利用及び教育、研究並びに病院などの施設での小規模使用	放射性物質を含む大量の物品の使用、処分等
評価経路	<ul style="list-style-type: none"> ・ 通常使用及び事故時の作業員被ばく ・ 処分場での公衆被ばく 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 処分場、鋳物工場などの施設における作業員被ばく、並びにこれらの施設周辺の居住者被ばく ・ 汚染材料で建設した家の居住者被ばく及び建設した施設周辺の居住者被ばく
計算モデルにおける線量基準	通常時：10 μ Sv/年 事故時：1mSv/年 (事故発生確率：0.01)	現実的なパラメータ値の場合 ：10 μ Sv/年 保守的なパラメータ値の場合 ：1mSv/年
導出値の例 (Co-60)	放射能濃度：10Bq/g 放射エネルギー：1.0 \times 10 ⁵ Bq	放射能濃度：0.1Bq/g

免除及びクリアランスの概念の整理*1

1. 免除とクリアランス

RS-G-1.7によれば、免除、クリアランス及び除外は、次のように定義されている。

・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いうことを根拠に、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。

なお、これらの定義の中で使われている線源及び放射性物質の IAEA による定義は以下のとおりである。

・線源(source)

放射線被ばくをもたらす可能性のあるあらゆるもので、防護と安全の目的で一体の物(a single entity)と見なせるもの

・放射性物質(radioactive material)

その放射能のため、国の法令又は規制機関によって、規制機関による管理に従うべきものと指定されたもの

2. 免除レベルとクリアランスレベル

免除レベルは、法的な規制を適用しない範囲をあらかじめ設定するための数値基準であるのに対して、クリアランスレベルは、法的な規制の適用を既に受けているものを、その適用から外すための数値基準である。

BSS では、免除レベルとクリアランスレベルとの関係について、次のように記載されている。

*1 平成 18 年度中間報告書 4-2 より引用。

クリアランスレベルは、(BSS の)付則 I に示されている免除規準(線量基準)を斟酌したものでなければならず、また、規制当局により別途承認されない限り、付則 I に示された免除レベル又は付則 I に示されている(線量)規準に基づいて規制当局が定める免除レベルよりも高いものであってはならない。【2.19 節】

即ち、免除レベルもクリアランスレベルも、その適用を受けたものに起因する放射線のリスクや影響が管理を必要としないほど十分小さいという根拠に基づいて導出されるものである。そして、導出されたクリアランスレベルの数値(濃度)は、免除レベルの数値を超えてはならないとしている。

これは、仮にクリアランスレベルが免除レベルより高いものであるとすると、クリアランスレベルに適合して規制対象から一旦外れた物(クリアランスされた物)が、その物に含まれる放射性同位元素の濃度が免除レベルより高いという理由で、再び規制対象になってしまう、という矛盾が生じるからである。

- ① 第29回放射線安全規制検討会（平成21年12月7日）
参考資料2「RI汚染物の発生量について補足（（社）日本アイソトープ協会）」
[第9回クリアランス技術検討ワーキンググループ資料第9-6号添付資料1-2より引用]
- ② 第29回放射線安全規制検討会（平成21年12月7日）
参考資料3「RI汚染物に係るクリアランスレベル値の試算対象核種について（（社）日本アイソトープ協会、（独）日本原子力研究開発機構）」
[第9回クリアランス技術検討ワーキンググループ資料第9-6号添付資料2より引用]
- ③ 第29回放射線安全規制検討会（平成21年12月7日）
参考資料4「放射線発生装置の解体等に伴って発生するRI汚染物中の核種の選定について（高エネルギー加速器研究機構）」
[第9回クリアランス技術検討ワーキンググループ資料第9-6号添付資料3-1、3-2より引用]
- ④ 第19回クリアランス技術検討ワーキンググループ（平成22年8月5日）
資料第19-2号「JT-60施設の改造に伴い発生するクリアランス対象物量の精査及びその物量が第2次中間報告書のクリアランスレベルの暫定値の算出結果に与える影響評価について（日本原子力研究開発機構）」より抜粋

RI 汚染物の発生量についての補足

平成 21 年 8 月 25 日
(社) 日本アイソトープ協会

1. RI 汚染物の集荷数量の推移

RI 汚染物は、放射線障害防止法及び医療関連法令によって規制される RI 使用施設等より発生している。RI 協会では、RI 使用施設等において発生した RI 汚染物を、集荷スケジュールに基づき、集荷希望事業所より 1 年に 1 回以上の集荷を実施している。RI 協会が平成 16 年度から平成 20 年度に集荷した RI 汚染物の集荷量を図 1 に示す。

過去 5 年間集荷量の推移では、放射線障害防止法によって規制される事業所からの集荷量の減少が著しい状況である。これは、非密封放射性同位元素のトレーサー利用が減少していることを反映している。また、医療関連法令によって規制される事業所からの集荷量についても減少傾向にある。特に、臨床検査分野における放射性医薬品について、代替検査方法が普及したことにより、利用が減少している。

総じて、RI 使用施設等における RI 汚染物の発生は減少傾向にあり、5 年間の平均値を基に設定した RI 汚染物の発生量は、今後 (将来) 発生すると予測される量を大きく上回るおそれは少なく、クリアランスレベル算出における対象物量として用いることは適切であると考えられる。

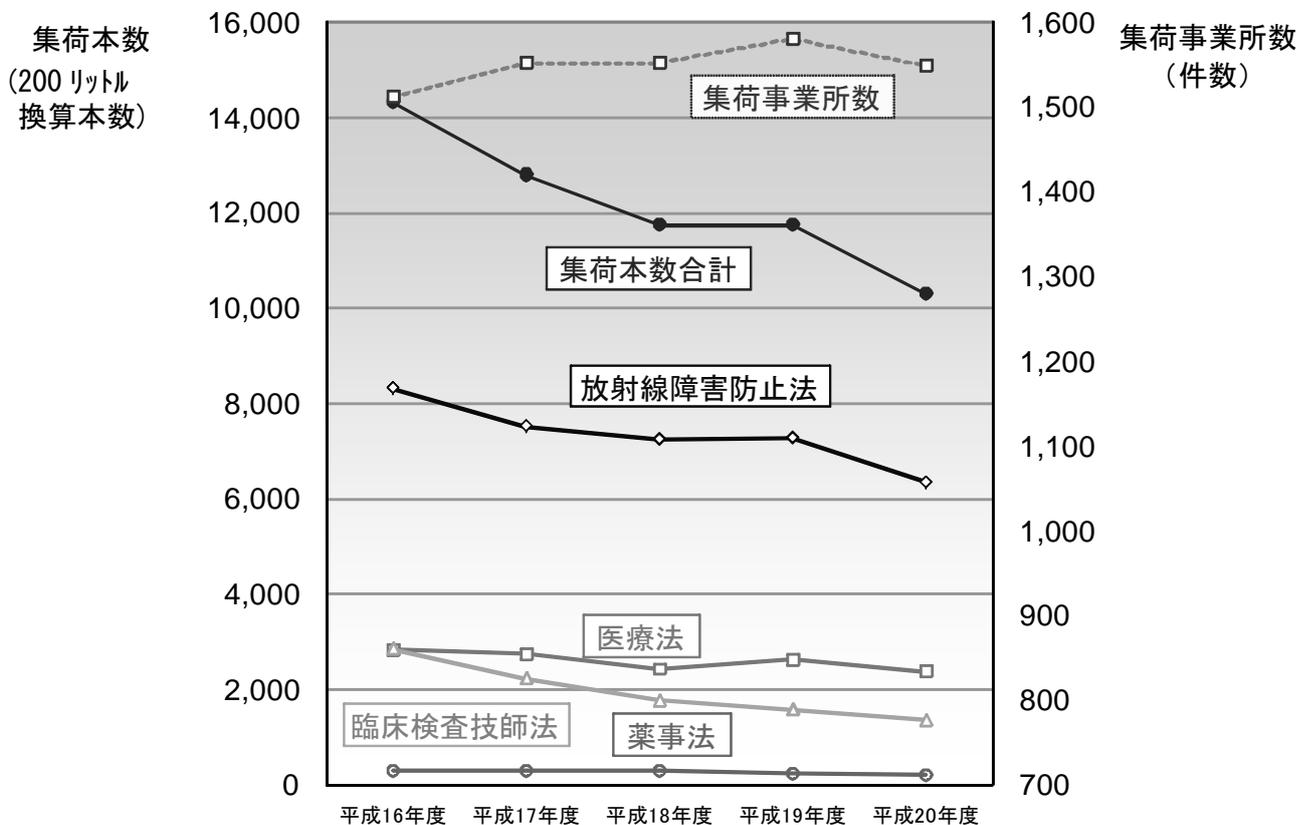


図 1 RI 汚染物集荷数量の推移

2. RI 汚染物の集荷物量の分布について

平成 16 年から平成 20 年度に集荷した RI 汚染物について、RI 使用施設等の一事業所あたりの RI 汚染物の集荷重量（5 年間平均）の分布を図 2 に示す。個別クリアランスにおける土砂を除くクリアランス対象物量である年間約 1,300kg 以下の発生事業所数は約 1,460 事業所となり、全体 1,520 事業所中の約 96%が個別クリアランスにおけるクリアランス対象物量を下回ることとなる。したがって、個別クリアランスにおいて設定した対象物量は RI 使用施設等の大部分を網羅することとなり、クリアランスレベル算出における対象物量として用いることは適切であると考えられる。

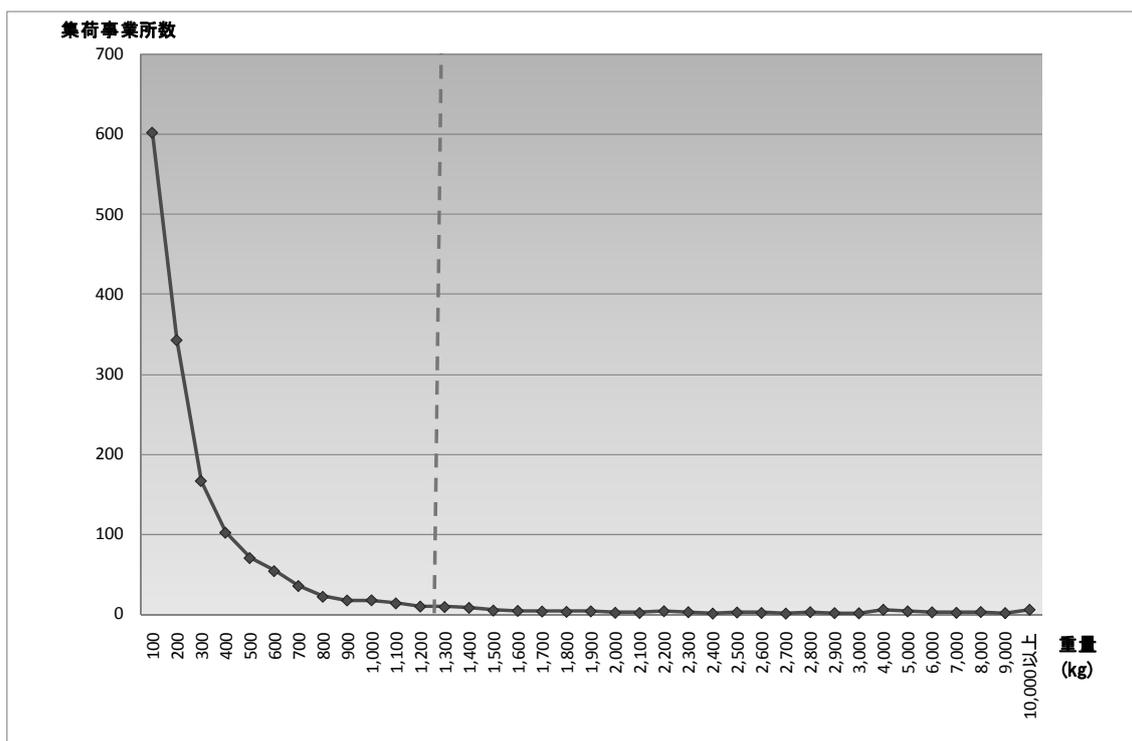


図 2 RI 汚染物集荷量の分布
(平成 16 年度～平成 20 年度の平均)

RI 汚染物に係るクリアランスレベル値の試算対象核種について

平成 21 年 8 月 25 日

(社)日本アイソトープ協会

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

1. はじめに

前回の第 8 回クリアランス技術検討WGにおいて、放射性同位元素使用施設(以下、「RI 使用施設」という。)等から発生する RI 汚染物の種類と物量等について報告した。

本資料では、クリアランスレベルの試算のため、対象物に含まれる核種から、試算対象とする核種選定方法について説明する。

2. 試算対象核種

RI 汚染物に係るクリアランスレベル値の試算対象核種の選定にあたっては、RI 使用施設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的に対象とする必要がある。そのため、下記に示す RI 使用施設に供給されている主な核種、社団法人日本アイソトープ協会(以下、「RI 協会」という。)において保管されている RI 汚染物に含まれている核種、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。)において使用・保管されている核種から試算対象核種を選定する。選定に際しては、リスク評価の観点から核種の放射能を規格化し、上位 6 桁に該当する核種を試算の対象とする。

なお、今回、試算の対象としている RI 汚染物は RI 使用施設等から発生する固体状廃棄物であるため、希ガスである放射性核種については対象外とする。

2. 1 RI 使用事業所に供給されている主な核種

RI 協会が平成 16 年度から平成 20 年度に供給した「アイソトープ等流通統計(2009)」に核種名が記載されている非密封の放射性同位元素 33 核種及び放射性医薬品核種 14 核種を試算対象とした。なお、供給量が最大値となる核種の放射能を 1 として、他の核種の放射能を規格化したところ、相対比が 6 桁以内の範囲に全て対象核種が入ることとなった。

2. 2 RI 協会が保管している RI 汚染物に含まれる放射性核種

RI 協会が全国の RI 使用施設から集荷し、平成 20 年度末に保管している RI 汚染物に含まれる放射性核種 166 種について、放射エネルギーが最大値となる核種の放射能を 1 として、他の核種の放射能を規格化した。規格化された相対比が 6 桁の範囲に入る核種のうち、核種を含有する容器が 100 個以下の放射性核種については、対象核種から除外し、33 核種を評価対象とした。

なお、保管記録から半減期が 1 日未満の核種については対象から除外した。

2. 3 原子力機構における主な試算対象核種

原子力機構の RI 使用施設において平成 16 年度から平成 20 年度に使用及び保管されている RI 汚染物等に含まれる放射性核種 146 種について、放射エネルギーが最大値となる核種の放射能を 1 とし

て、他の核種の放射能を規格化した。規格化された相対比が6桁の範囲に入る放射性同位元素 23 核種を評価対象とした。

なお、放射エネルギーについては、減衰補正はしていない。また、保管記録から半減期が1日未満の核種については対象から除外した。

3. まとめ

RI 使用事業所に供給されている主な核種、RI 協会が保管している RI 汚染物に含まれる放射性核種及び原子力機構における主な試算対象核種を表1に示す。核種の重なりなどを考慮すると、クリアランスレベル値の試算対象核種は表2に示すように 53 核種となる。

表1 クリアランス対象核種の放射エネルギーの相対比評価結果

規格化	主な非密封放射性同位元素供給核種	放射性医薬品供給核種	RI 協会 RI 汚染物保管核種	原子力機構 RI 汚染物使用・保管核種	備考
放射エネルギー最大核種	H-3	Tc-99m	C-14	Ir-192	
1桁目	P-32,C-14, I-125	Mo-99	H-3,Ni-63, Cs-137, Pm-147	H-3	
2桁目	S-35,Ni-63, Mo-99,Cr-51, I-131,P-33, Tc-99m,F-18	I-123,Tl-201, F-18,I-131, Ga-67	Co-60		
3桁目	Re-186,Y-90, I-123,Ca-45, In-111,Fe-59, Tl-201,Ge-68	Rb-81	S-35,Sr-90, Ba-133	Sr-90,Fe-55, Au-198,Cs-137, Yb-169,Co-60	
4桁目	Rb-86,Fe-55, Ga-67,Cs-137, Co-57,Se-75, Na-22,Mn-54	In-111,Y-90, Sr-89,I-125	Na-22,P-32, Cl-36,Mn-54, Fe-55,Co-57, Zn-65,Te-99, Cd-109,I-125, Eu-152	Co-58,Re-186, Cm-244,Fe-59, Cr-51	
5桁目	Zn-65,Sr-85, Cd-109,Co-60, Ce-141	Cr-51	P-33,Ca-45, Cr-51,Sb-125, Ir-192,Tl-204, Am-241	C-14,Mn-54, Am-241,Tc-99	
6桁目		Fe-59	Fe-59,Ge-68, Se-75,I-131, Cs-134, Gd-153	V-49,Y-90, Ni-63,Sb-125, Co-57,W-188	
核種数	33	14	33	23	

表2. クリアランスレベル試算対象核種について

区分			主な非密封放射性同位元素	放射性医薬品核種	RI協会 RI汚染物	原子力機構 RI汚染物
核種		供給核種 33核種				
No.	核種	半減期 (y)				
1	H-3	1.20E+01	○		○	○
2	C-14	5.70E+03	○		○	○
3	F-18	2.10E-04	○	○		
4	Na-22	2.60E+00	○		○	
5	P-32	3.90E-02	○		○	
6	P-33	7.00E-02	○		○	
7	S-35	2.40E-01	○		○	
8	Cl-36	3.00E+05			○	
9	Ca-45	4.50E-01	○		○	
10	V-49	9.26E-01				○
11	Cr-51	7.60E-02	○	○	○	○
12	Mn-54	8.60E-01	○		○	○
13	Fe-55	2.70E+00	○		○	○
14	Fe-59	1.20E-01	○	○	○	○
15	Co-57	7.40E-01	○		○	○
16	Co-58	1.90E-01				○
17	Co-60	5.30E+00	○		○	○
18	Ni-63	9.60E+01	○		○	○
19	Zn-65	6.70E-01	○		○	
20	Ga-67	8.93E-03	○	○		
21	Ge-68	7.42E-01	○		○	
22	Se-75	3.30E-01	○		○	
23	Rb-81	5.22E-04		○		
24	Rb-86	5.10E-02	○			
25	Sr-85	1.80E-01	○			
26	Sr-89	1.40E-01		○		
27	Sr-90	2.90E+01			○	○
28	Y-90	7.30E-03	○	○		○
29	Mo-99	7.50E-03	○	○		
30	Tc-99	2.10E+05			○	○
31	Tc-99m	6.90E-04	○	○		
32	Cd-109	1.30E+00	○		○	
33	In-111	7.70E-03	○	○		
34	Sb-125	2.80E+00			○	○
35	I-123	1.50E-03	○	○		
36	I-125	1.63E-01	○	○	○	
37	I-131	2.20E-02	○	○	○	
38	Cs-134	2.10E+00			○	
39	Cs-137	3.00E+01	○		○	○
40	Ba-133	1.07E+01			○	
41	Ce-141	8.90E-02	○			
42	Pm-147	2.60E+00			○	
43	Eu-152	1.30E+01			○	
44	Gd-153	6.60E-01			○	
45	Yb-169	8.78E-02				○
46	W-188	1.90E-01				○
47	Re-186	1.00E-02	○			○
48	Ir-192	2.00E-01			○	○
49	Au-198	7.40E-03				○
50	Tl-201	8.30E-03	○	○		
51	Tl-204	3.80E+00			○	
52	Am-241	4.30E+02			○	○
53	Cm-244	1.80E+01				○

放射線発生装置の解体等に伴って発生する RI 汚染物中の核種の選定について

平成 21 年 8 月 25 日
高エネルギー加速器研究機構

1. はじめに

前回の第 8 回クリアランス技術検討WGにおいて、放射線発生装置使用施設から発生する RI 汚染物の種類と物量等について報告した。本資料ではクリアランスレベル値の試算のため、対象物に含まれる核種から、試算対象とする核種選定方法について説明する。

放射線発生装置で発生する RI 汚染物（放射化物）生成の主要な原因は、原子炉と同様に中性子によるものであることが先の中間報告で示されている。このため、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。

核種の選定に当たっては、「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わる技術的検討について」（中間報告書、平成 18 年、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）における評価結果、及び電子加速器である JAEA の LINAC や高エネ研の粒子加速器施設をモデルとして行ったクリアランスの対象となる金属やコンクリート等の放射化計算の結果を参考にした。また、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った。

2. 物質組成について

評価対象となる材質は、鉄、ステンレス、銅、アルミニウム、鉛およびコンクリートである。鉄や銅は放射線発生装置の電磁石で主に使用されており、純度は高い。しかし、純鉄ではしばしばコバルトが不純物として含まれる。計算では炭素鋼の成分 (NUREG/CR3474) を用いている。ステンレスは配管材料などであり、SUS304 が代表的であることから、その NUREG/CR3474 の成分表を使用している。アルミニウムも低放射化を目的とした真空容器、配管材料、として用いられており、押し出し加工に優れた JIS の 6063 番がよく使用されていることから、JIS6063 番の成分表を用いている。鉛の不純物としては JT-60 の構造材分析値のデータを用いている。コンクリートは、セメントに粗骨材や細骨材として岩石が含まれている。主要成分の組成は変動が少ないが、微量に含まれる成分の濃度にはばらつきがある。そこで、一般には米国で用いられている NUREG/CR3474 のデータ、およびその他国内放射線発生装置使用施設などでのコンクリート分析結果を参考にしている。

3. 主要核種について

鉄、SUS、銅、アルミニウム、鉛及びコンクリート中の生成核種を検討するにあたり、解体時の放射化物の評価過程を考慮して冷却期間は 1 年、半減期は 1 月を超える核種とした。評価対象核種の選定に当たっては、核種の生成量 (D) 及び現在使用されている RS-G-1.7 の値 (C) をもとに、主要核種の (D/C) max に対し、その核種の D/C 値の比 $[(D/C) / (D/C) \text{max}]$ をとることとした。コンクリートについては表 1 (18 年度中間報告書の表 6 を引用) に示された核種のうち、KEK 陽子加速器では $[(D/C) / (D/C) \text{max}]$ 値が 4 桁目まで、その他の発生装置では 3 桁目までを選んだ。その他の材質については、「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」報告書の計算結果を参考にし、 $[(D/C) / (D/C)_{max}]$ 値が4桁目までの核種を選定した。

以上により、クリアランス計算を行うために選定した核種を表2の「放射線発生装置の使用に伴い放射化することが想定される核種」の欄に挙げた。材質毎に核種を示したが、▲印は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思われるために追加した核種である。

表1 放射化コンクリートの放射能濃度に係る放射化計算結果と分析・測定結果に基づく評価対象核種の選定（18年度中間報告の表6を引用）

$(D/C) / (D/C)_{max} * 1$	KEK 陽子加速器施設	JAEA LINAC	RI 協会 仁科記念サイクロトロンセンター
	装置停止1年後 (コンクリート表面から100cm深さ*2)	装置停止1年後 (コンクリート表面から80cm深さ*2)	装置停止1年後 (コンクリート表面*2)
最重要核種	Na-22	Co-60	Co-60
1桁目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が1.0~1.0E-1)	Mn-54	Mn-54 Sb-125 Cs-134 Eu-152 Eu-154	Mn-54 Eu-152
2桁目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が1.0 E-1 ~ 1.0E-2)	Co-60	Na-22 Sc-46 Zn-65 Ba-133 Ta-182	H-3 Sc-46 Zn-65 Sb-125 Ba-133 Cs-134 EU-154
3桁目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が1.0 E-2 ~ 1.0E-3)	H-3 Sc-46 Fe-55 Zn-65 Sb-125 Cs-134 Ba-133 Eu-152	H-3 Ag-110m Sn-113 Te-123m	Ca-45 Fe-55 Te-123m Ta-182
4桁目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が1.0 E-3 ~ 1.0E-4)	C-14 Co-57 Te-123m Cs-137 Ce-139 Eu-154 Ta-182	C-14 Ca-45 Fe-55 Fe-59 Sb-124 Te-127m Eu-155 Tb-160 Tl-204 Pu-239	C-14 Fe-59 Ag-110m Sn-113 Eu-155 Tl-204
5桁目 (最重要核種の(D/C) _{max} との比が1.0 E-4 ~ 1.0E-5)	Ca-45 Co-58 Sr-85 Ag-110m Sn-113 Te-127m Eu-150	Cl-36 Ca-41 Co-57 Co-58 Se-75 Sr-85 Nb-93m Nb-94 Zr-95 Ce-139 Gd-153	Cl-36 Ca-41 Co-58 Se-75 Sr-85 Nb-94 Sb-124 Te-127m Gd-153 Tb-160 Pu-239

*1 : D:放射能濃度の計算値(Bq/g) C:RS-G-1.7の放射能濃度(Bq/g)

各放射性核種のD/Cの値を最重要核種(D/Cの値の最大となる核種)のD/Cの値で除して、その値の桁で分類した。また、半減期が1ヶ月未満、放射性希ガス及び天然起源の放射性核種を除外した。

*2 : 放射能濃度の測定部位の位置(深さ)を考慮し、放射化計算結果に基づいたクリアランス対象部位の近傍位置(深さ)

表 2 放射化物に係るクリアランスレベル値の試算対象核種

核種	IAEA RS-G-1.7 (Bq/g)	放射線発生装置の使用に伴い放射化することが想定される核種						原子炉等規制 法に規定され ている原子炉 施設のクリア ランスレベル
		放射化コンク リート中の評 価対象核種	放射化金属中の評価対象核種					
			ステンレス鋼	炭素鋼	銅	アルミ ニウム	鉛	
		23 核種	15 核種	10 核種	6 核種	8 核種	10 核種	33 核種
H-3	100	○				▲	▲	○
Be-7	10	▲				▲		
C-14	1	○						○
Na-22	0.1	○				○		
Cl-36	1	▲						○
Ca-41 (放射化)	-							○
Ca-45	100	○						
Sc-46	0.1	○	▲	▲		○		○
Ti-44	-		▲	▲				
Mn-54	0.1	○	○	○		○	○	○
Fe-55	1000	○	○	○				○
Fe-59	1	○	○	○		○		○
Co-56	0.1		▲	▲	▲			
Co-57	1	○	○	○	▲			
Co-58	1		○	○	▲			○
Co-60	0.1	○	○	○	○	○	○	○
Ni-59 (放射化)	100							○
Ni-63	100				○			○
Zn-65	0.1	○	○	○	▲	○	○	○
Sr-90 (FP)	1							○
Nb-94 (FP)	0.1							○
Nb-95 (FP)	1							○
Tc-99 (FP)	1							○
Ru-106 (FP)	0.1							○
Ag-108m (放射化)	-							○
Ag-110m	0.1	○	○					○
Sn-113	1	○					○	
Sb-124	1		○				○	○
Sb-125	0.1	○					○	
Te-123m	1	○						○
I-129 (FP)	0.01							○
Cs-134	0.1	○	○					○
Cs-137	0.1	○						○
Ba-133	-	○						○
Ce-139	1	○						
Eu-152	0.1	○	○					○
Eu-154	0.1	○						○
Tb-160	1		○					○
Ta-182	0.1	○						○
Au-195	-							
Hg-203	10						▲	○
Pu-239 (放射化)	0.1							○
Pu-241 (放射化)	0.1							○
Am-241 (放射化)	0.1							○

※黄色の欄の核種については、クリアランスレベルを算出する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う。

3. JT-60 施設における材料組成の違いによる評価核種の選定への影響について

上述した JT-60 のクリアランス対象物量を踏まえ、JT-60 の改造で発生するクリアランス対象物のうち磁場コイルに使用されている鉄鋼（インコネル）、ステンレス鋼、アルミニウム及び銅の組成を考慮したクリアランスの評価対象核種に係る検討を行いました。

JT-60 の磁場コイルに使用されている銅の中に含まれる銀の含有量は約 0.2%と設定されており（以下、「銀入り銅」と呼ぶ）、加速器施設とは異なっています（大型加速器施設の場合はほぼ純銅が使用されています）。また、鉄鋼（インコネル）は Nb を 3.6%程度含みます。

今回、放射化計算による対象核種を再度精査しました結果、第2次中間報告書と同様に JT-60 の運転停止後 1 年目に相当する放射化に係る評価結果では、銀入り銅の場合、Ag-110m の (D/C)⁽⁴⁾ が最大となり、Ag-108m（銀の放射化により発生、半減期：418 y）の (D/C) が Ag-110m の (D/C) の 3 桁下になることが確認されました。

また、鉄鋼（インコネル）の場合、Co-60 の (D/C) が最大となり、Nb の放射化により Nb-93m（半減期：16.13 y）及び Nb-94（半減期：20300 y）が 3 桁下になることが確認されました。

このため、「第2次中間報告書」における放射化物に係るクリアランスレベルを算出する対象核種の選定の考え方を踏まえ、Nb-93m、Nb-94 及び Ag-108m の 3 核種について、クリアランスレベルの暫定値の算出を実施致しましたので、報告致します。

加速器施設での評価核種の選定に当たっては、最大となる核種に対して 4 桁下までを評価核種として選定している事から、銀入り銅及び鉄鋼（インコネル）の放射化におけるクリアランスレベル評価の対象核種として、Nb-93m、Nb-94 及び Ag-108m を追加し、そのクリアランスレベルを計算しました。

表 8 JT-60 の金属対象物の評価対象核種の相対比

(D/C)/(D/C)max の比	最大核種	1 桁	2 桁	3 桁	4 桁
鉄(炭素鋼)	Co-60	Mn-54	—	Zn-65, Cs-134	Fe-55, Co-58
(インコネル)	Co-60	—	Co-58, Co-57	Nb-93m, Nb-94, Mn-54	Ni-63
ステンレス鋼	Co-60	—	Mn-54	Co-58 Zn-65	Co-57, Cs-134, Ag-110m
アルミニウム	Mn-54	—	Co-60	—	Fe-55 Ni-63
銅(銀入り銅)	Ag-110m	Co-60	—	Ag-108m, Ni-63	—

(4) : D/C は、核種の生成量 (D) と RS-G-1.7 の値 (C) との比。

- ① 第18回クリアランス技術検討ワーキンググループ（平成22年6月30日）
資料第18-2号「放射線障害防止法におけるクリアランスレベルの設定に係る検討（放射化物に係る確率論的解析の結果）添付資料1」

表 評価パラメータの分布幅および分布型の選定の考え方

分布	選 定 の 方 法
分布幅	<p>以下の優先順位で変動幅を選定する。</p> <p>(1) 実態調査、文献からデータが得られているもの。</p> <p>(2) 評価経路から想定して変動幅を判断できるもの。</p> <p>(3) (1) 及び(2)以外のは、中央値の位置、分布の広がり（±n%、n倍、1/n倍）を想定して判断する。</p>
分布型	<p>基本的に一様分布とするが、以下の優先順位で分布型を選定する。</p> <p>(1) 既存の研究により正規分布あるいは対数正規分布であることが明らかである評価パラメータは、正規分布あるいは対数正規分布とする。（たとえば、分配係数、移行係数など）</p> <p>(2) 文献調査等により、正規分布、対数正規分布であることが統計的に想定される評価パラメータは、正規分布あるいは対数正規分布とする。（たとえば、処分場の大きさなど）</p> <p>(3) 分布幅の判断において、選定値を中心にn倍、1/n倍と想定した場合は、対数一様分布または対数正規分布とする。その中で、最小値付近の値の確率が高いと想定される場合は、対数一様分布とする。</p> <p>(4) 自然現象と考えられる事象で、中央値付近の値が最大値、最小値付近の値より確率が高いことが合理的に想定される評価パラメータは正規分布あるいは対数正規分布とする。（たとえば、土壌の真密度など）</p> <p>(5) 社会的な評価パラメータであっても、経験的に中央値付近の値が最大値、最小値付近の値より確率が高いことが想定される評価パラメータは、正規分布あるいは対数正規分布とする。（たとえば、農畜産物摂取量など）</p>

- ① 第29回放射線安全規制検討会（平成21年12月7日）
- ・資料第29-4号添付資料1「埋設処分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について」、
 - ・資料第29-4号添付資料2「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線量評価式について」、
 - ・資料第29-4号添付資料3「焼却処理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について」
- より抜粋

1. 埋設処分に係る経路の評価モデル

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係るクリアランスレベルの算出に用いる被ばく線量評価式（以下、「線量評価式」という。）は、原子炉クリアランス報告書（平成11年3月17日 原子力安全委員会）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（平成16年12月9日（平成17年3月10日一部訂正及び修正））において見直しが行われ、以下の(1)～(4)に示すように、線量評価式の変更及び被ばく形態の追加が行われた。そのため、今回行う放射化物を含めた RI 汚染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) 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した。
- (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取り入れた。
- (3) 皮膚汚染による皮膚被ばくを考慮した。
- (4) 汚染物質の直接経口摂取による内部被ばくを考慮した。

外部被ばくに対する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 により算出した。

1.1.1 作業の評価経路（経路 No.1～8）

この評価経路では、廃棄物そのものが線源となるので、被ばく評価にあたっては廃棄物の放射性核種（以下、「核種」という。）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。

1.1.1.1 クリアランスした廃棄物の積み下ろし作業、運搬作業及び埋立作業（直接線・外部被ばく）（経路 No.1、No.3、No.5）

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

※報告書本文の(1)式及び(2)式としても掲載。

1.1.1.2 クリアランスした廃棄物の積み下ろし作業、運搬作業及び埋立作業（粉塵吸入による内部被ばく）（経路 No.2、No.4、No.6）

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

※報告書本文の(3)式としても掲載。

1.1.1.3 クリアランスした廃棄物の積み下ろし作業及び埋立作業（皮膚汚染による皮膚被ばく）（経路 No.2s、No.6s）

$$D_{skin}(i) = C_w(i) \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_o \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 3)$$

1.1.1.4 クリアランスした廃棄物の積み下ろし作業及び埋立作業（直接経口摂取による内部被ばく）（経路 No.2d、No.6d）

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

※報告書本文の(4)式としても掲載。

1.1.1.5 埋立作業及び周辺居住者（トリチウム吸入による内部被ばく）（経路 No.7、No.8）

埋設作業中及び埋設後に、廃棄物中から空气中に飛散したトリチウムについて、その濃度と空气中に飛散したトリチウムを吸入することによる埋立作業及び周辺居住者の内部被ばく線量を次式により評価する。

1.1.1.5.1 空気中のトリチウムの濃度

$$C_T = \frac{C_w(T) \cdot W \cdot D_T}{H_e \cdot L_e \cdot U_w} \dots\dots\dots (付 5)$$

1.1.1.5.2 トリチウム吸入による内部被ばく線量

$$D_{inh}(T) = C_T \cdot B_T \cdot t_T \cdot DF_{inh}(T) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 6)$$

1.2 跡地利用の評価経路（経路 No.9～18）

跡地利用の評価経路では、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、農耕作業また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また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。

1.2.1 建設作業（経路 No.9～10）

1.2.1.1 掘削土壌中の核種の濃度

建設作業によって発生する、廃棄物を混入した掘削土壌中の核種の濃度は、廃棄物の隙間に埋め戻された土砂及び覆土の存在を考慮して、次式によって求める。なお、掘削土壌中の核種の濃度の計算にあたっては、放射性崩壊による減衰のみを考慮し、地下水への漏出は考慮しないものとする。

$$C_M(i) = C_W(i) \cdot \frac{T_U - T_C}{T_U} \cdot \frac{W}{L_D \cdot W_D \cdot H_D \cdot \rho_D \cdot 10^6} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{dist}) \dots\dots\dots(\text{付 7})$$

1.2.1.2 建設作業（土壌直接線・外部被ばく）（経路 No.9）

$$D_{ext}(i) = C_M(i) \cdot S_C \cdot t_C \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(\text{付 8})$$

1.2.1.3 建設作業（粉塵吸入による内部被ばく）（経路 No.10）

$$D_{inh}(i) = C_M(i) \cdot C_{dust,C} \cdot f_{dust,inh} \cdot B_C \cdot t_C \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(\text{付 9})$$

1.2.1.4 建設作業（皮膚汚染による皮膚被ばく）（経路 No.10s）

$$D_{skin}(i) = C_M(i) \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_C \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(\text{付 10})$$

1.2.1.5 建設作業（直接経口摂取による内部被ばく）（経路 No.10d）

$$D_{direct}(i) = C_M(i) \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_C \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(\text{付 11})$$

1.2.2 居住者（経路 No.11～12）

1.2.2.1 居住者（土壌直接線・外部被ばく）（経路 No.11）

この経路は子どもについても評価する。

$$D_{ext}(i) = C_M(i) \cdot S_L \cdot t_L \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(\text{付 12})$$

1.2.2.2 居住者（粉塵吸入による内部被ばく）（経路 No.12）

この経路は子どもについても評価する。

$$D_{inh}(i) = C_M(i) \cdot C_{dust,L} \cdot f_{dust,inh} \cdot B_L \cdot t_L \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(付 13)$$

1.2.2.3 居住者（子どもの直接経口摂取による内部被ばく）（経路 No.12d）

居住者のうち、子どもが土壌を直接経口摂取することによる内部被ばく線量を評価する。

$$D_{direct}(i) = C_M(i) \cdot f_{C,ing} \cdot q_{LC} \cdot t_{LC} \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(付 14)$$

1.2.3 農耕作業（経路 No.13～14）

1.2.3.1 掘削土壌中の核種の濃度

農耕作業者は、処分場跡地を農地とするために掘削することにより、廃棄物が地表面に露出することによる被ばくを評価する。その線源となる廃棄物を含んだ土壌中の核種の濃度は、次式により求める。

$$C_M(i) = C_W(i) \cdot \frac{T_A - T_C}{T_A} \cdot \frac{W}{L_D \cdot W_D \cdot H_D \cdot \rho_D \cdot 10^6} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{dist}) \dots\dots\dots(付 15)$$

1.2.3.2 農耕作業（土壌直接線・外部被ばく）（経路 No.13）

$$D_{ext}(i) = C_M(i) \cdot S_A \cdot t_A \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(付 16)$$

1.2.3.3 農耕作業（粉塵吸入による内部被ばく）（経路 No.14）

$$D_{inh}(i) = C_M(i) \cdot C_{dust,A} \cdot f_{dust,inh} \cdot B_A \cdot t_A \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(付 17)$$

1.2.4 牧畜作業（経路 No.15～16）

牧畜作業場所における掘削土壌中の核種の濃度は、農地土壌中の核種の濃度（(付 15)式）と等しいものとする。

1.2.4.1 牧畜作業（土壌直接線・外部被ばく）（経路 No.15）

$$D_{ext}(i) = C_M(i) \cdot S_F \cdot t_F \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(付 18)$$

1.2.4.2 牧畜作業（粉塵吸入による内部被ばく）（経路 No.16）

$$D_{inh}(i) = C_M(i) \cdot C_{dust,F} \cdot f_{dust,inh} \cdot B_F \cdot t_F \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(付 19)$$

1.2.5 農作物摂取者（経路 No.17）

1.2.5.1 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。農業用水には放射能が

含まれていないものとする。

$$C_{vk}(i) = T_k(i) \cdot K_N \cdot C_W(i) \cdot \frac{W}{L_D \cdot W_D \cdot H_D \cdot \rho_D \cdot 10^6} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{dist}) \dots\dots\dots(付 20)$$

※報告書本文の(5)式としても掲載。

1.2.5.2 農作物摂取者（経口摂取による内部被ばく）（経路 No.17）

この経路は子どもについても評価する。

$$D_{ing,v}(i) = \sum_k C_{vk}(i) \cdot 10^3 \cdot Q_k \cdot G_k \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{vk}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots(付 21)$$

※報告書本文の(6)式としても掲載。

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。

$$D_{ing,vk}(i) = \sum_k C_{vk}(i) \cdot 10^3 \cdot Q_k \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(付 21')$$

※報告書本文の(6')式としても掲載。

1.2.6 畜産物摂取者（経路 No.18）

1.2.6.1 飼料中の核種の濃度

$$C_{vF}(i) = T_F(i) \cdot K_N \cdot C_W(i) \cdot \frac{W}{L_D \cdot W_D \cdot H_D \cdot \rho_D \cdot 10^6} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{dist}) \dots\dots\dots(付 22)$$

1.2.6.2 畜産物中の核種の濃度

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を次式で計算する。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卵、牛乳、牛肉、豚肉及び鶏肉を想定する。なお、飼料中の核種*i*の濃度は、(付 22)式により求める。

$$C_{Fn}(i) = T_n(i) \cdot M_F \cdot C_{vF}(i) \cdot 10^3 \cdot Q_{vn} \dots\dots\dots(付 23)$$

1.2.6.3 畜産物摂取者（経口摂取による内部被ばく）（経路 No.18）

この経路は子どもについても評価する。

$$D_{ing,F}(i) = \sum_n C_{Fn}(i) \cdot Q_n \cdot G_n \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{Fn}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(付 24)$$

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。

$$D_{ing,F}(i) = \sum_n C_{Fn}(i) \cdot Q_n \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots(付 24')$$

1.3 地下水移行の評価経路（経路 No.19～27）

地下水移行の評価経路では、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。

1.3.1 井戸水飲用（経路 No.19）

1.3.1.1 処分場からの漏出モデル

政令濃度上限値の計算方法と同様に、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。

$$J(t,i) = \eta_i \cdot C_w(i) \cdot W \cdot \exp\{-(\lambda_i + \eta_i) \cdot t\} \dots\dots\dots(付 25)$$

※報告書本文の(7)式としても掲載。

1.3.1.2 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、地下水流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。

$$\frac{\partial}{\partial t} R_s(i) \cdot C_{GW}(x,t,i) = D_x \cdot \frac{\partial^2 C_{GW}(x,t,i)}{\partial x^2} - U_s \cdot \frac{\partial C_{GW}(x,t,i)}{\partial x} \dots\dots\dots(付 26) \\ - R_s(i) \cdot \lambda_i \cdot C_{GW}(x,t,i)$$

※報告書本文の(8)式としても掲載。

なお、以降の計算では、(付 26)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、(付 25)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。

1.3.1.3 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いる。

$$C_{ww}(t,i) = C_{GW}(x_w,t,i) \cdot R_w \dots\dots\dots(付 27)$$

※報告書本文の(9)式としても掲載。

1.3.1.4 井戸水飲用者（経口摂取による内部被ばく）（経路 No.19）

この経路は子どもについても評価する。

$$D_{ing,w}(t,i) = C_{ww}(t,i) \cdot Q_w \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots(付 28)$$

1.3.2 灌漑利用（経路 No.20～25）

核種を含む井戸水を灌漑用水として散布した農地で農耕作業や牧畜作業を行う者の、灌漑土壌からの直接線による外部被ばくや粉塵吸入による内部被ばく線量を評価する。また、灌漑した農地で作られた飼料を食べた畜産物や農作物、灌漑水を飼育水として育った畜産物を摂取した者の内部被ばく線量を評価する。

1.3.2.1 灌漑土壌の核種の濃度

灌漑用水中の核種は蓄積するものとする。また、核種の浸透による減衰効果を考慮する。

$$C_{S,k}(t,i) = F_R \cdot \int_0^t \frac{V_{lk} \cdot C_I(t',i)}{P_k} \cdot e^{-E_{lk}(i)(t-t')} dt' \dots\dots\dots (付 29)$$

灌漑用水中の核種の濃度は、井戸水中の核種の濃度に等しいものとしている。

$$C_I(t,i) = C_{GW}(x_w, t, i) \cdot R_w \dots\dots\dots (付 30)$$

1.3.2.2 農耕作業（灌漑水、土壌直接線・外部被ばく）（経路 No.20）

$$D_{ext}(t,i) = C_{S,k}(t,i) \cdot 10^{-3} \cdot S_I \cdot t_I \cdot DF_{ext}(i) \dots\dots\dots (付 31)$$

1.3.2.3 農耕作業（灌漑水、粉塵吸入による内部被ばく）（経路 No.21）

$$D_{inh}(t,i) = C_{S,k}(t,i) \cdot C_{dust,I} \cdot f_{dust,inh} \cdot 10^{-3} \cdot B_I \cdot t_I \cdot DF_{inh}(i) \dots\dots\dots (付 32)$$

1.3.2.4 牧畜作業（灌漑水、土壌直接線・外部被ばく）（経路 No.22）

$$D_{ext}(t,i) = C_{S,k}(t,i) \cdot 10^{-3} \cdot S_B \cdot t_B \cdot DF_{ext}(i) \dots\dots\dots (付 33)$$

1.3.2.5 牧畜作業（灌漑水、粉塵吸入による内部被ばく）（経路 No.23）

$$D_{inh}(t,i) = C_{S,k}(t,i) \cdot C_{dust,B} \cdot f_{dust,inh} \cdot 10^{-3} \cdot B_B \cdot t_B \cdot DF_{inh}(i) \dots\dots\dots (付 34)$$

1.3.2.6 農作物摂取者（灌漑水、経口摂取による内部被ばく）（経路 No.24）

(1) 灌漑農作物中の核種の濃度

農作物（穀類、葉菜、非葉菜、果物）中の核種の濃度は、灌漑土壌からの経根吸収と灌漑水の葉面沈着を考慮する。

$$C_{vk}(t,i) = T_k(i) \cdot C_{S,k}(t,i) + \frac{C_I(t,i) \cdot V_{lk} \cdot F_{IEk} \cdot (1 - e^{-\lambda_{ei} T_I})}{\lambda_{ei} \cdot Y_{Bk}} \dots\dots\dots (付 35)$$

(2) 農作物摂取による内部被ばく線量

この経路は子どもについても評価する。

$$D_{ing,v}(t,i) = \sum_k C_{vk}(t,i) \cdot Q_k \cdot G_k \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{vk}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 36)$$

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。

$$D_{ing,v}(t,i) = \sum_k C_{vk}(t,i) \cdot Q_k \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 36')$$

1.3.2.7 畜産物摂取者（灌漑水、経口摂取による内部被ばく）（経路 No.25）

(1) 飼料中の核種の濃度

$$C_{vF}(t,i) = T_F(i) \cdot C_{S,k}(t,i) + \frac{C_I(t,i) \cdot V_{lk} \cdot F_{IEk} \cdot (1 - e^{-\lambda_{ei} T_I})}{\lambda_{ei} \cdot Y_{Bk}} \dots\dots\dots (付 37)$$

(2) 畜産物中の核種の濃度

$$C_{Fn}(t,i) = T_n(i) \cdot M_F \cdot C_{vF}(t,i) \cdot Q_{vn} \dots\dots\dots (付 38)$$

(3) 畜産物摂取による内部被ばく線量

この経路は子どもについても評価する。

$$D_{ing,F}(t,i) = \sum_n C_{Fn}(t,i) \cdot Q_n \cdot G_n \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{Fn}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 39)$$

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。

$$D_{ing,F}(t,i) = \sum_n C_{Fn}(t,i) \cdot Q_n \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 39')$$

1.3.3 飼育水利用 (経路 No.26)

1.3.3.1 畜産物中の核種の濃度

核種を含む井戸水を飼育水として利用して生産される肉や牛乳などの畜産物中の核種の濃度は、その家畜が摂取する飼育水中の核種の濃度に依存するものとし、次式により求める。

$$C_{FWn}(t,i) = C_{FW}(t,i) \cdot 10^{-3} \cdot Q_{Wn} \cdot T_{Wn}(i) \dots\dots\dots (付 40)$$

なお、飼育水中の核種の濃度は、井戸水中の核種の濃度に等しいものとし、次式により求める。

$$C_{FW}(t,i) = C_{GW}(x_w, t, i) \cdot R_w \dots\dots\dots (付 41)$$

1.3.3.2 畜産物摂取者 (飼育水、畜産物摂取による内部被ばく) (経路 No.26)

この経路は子どもについても評価する。

$$D_{ing,F}(t,i) = \sum_n C_{FWn}(t,i) \cdot Q_n \cdot G_n \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{Fn}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 42)$$

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。

$$D_{ing,F}(t,i) = \sum_n C_{FWn}(t,i) \cdot Q_n \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 42')$$

1.3.4 養殖水利用 (経路 No.27)

1.3.4.1 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。

$$C_{Sm}(t,i) = C_{ww}(t,i) \cdot R_{sw} \cdot 10^{-3} \cdot T_{Sm}(i) \dots\dots\dots (付 43)$$

※報告書本文の(10)式としても掲載。

1.3.4.2 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）（経路 No.27）

この経路は子どもについても評価する。

$$D_{ING}(t,i) = \sum_m C_{Sm}(t,i) \cdot Q_m \cdot G_m \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{Sm}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots(付 44)$$

※報告書本文の(11)式としても掲載。

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。

$$D_{ING}(t,i) = \sum_m C_{Sm}(t,i) \cdot Q_m \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots(付 44')$$

※報告書本文の(11')式としても掲載。

変数リスト（埋設処分に係る経路の計算モデル式）

※変数はアルファベット順に記載

小文字

$f_{C,ing}$: 微粒子への放射性物質の濃縮係数（経口摂取）（-）
$f_{dust,inh}$: 微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）（-）
$f_{dust,skin}$: 微粒子への放射性物質の濃縮係数（皮膚被ばく）（-）
q	: 粉塵の摂取率（g/h）
q_{LC}	: 汚染物質の摂取率（子ども）（g/h）
t_A	: 農耕作業における年間作業時間（h/y）
t_B	: 牧畜作業における年間作業時間（h/y）
t_C	: 建設作業における年間作業時間（h/y）
t_{dist}	: 処分場閉鎖後から評価時点までの期間（y）
t_F	: 牧畜作業における年間作業時間（h/y）
t_{Fn}	: 畜産物 n の輸送時間（d）
t_i	: 被ばく中の減衰期間（y）（1年）
t_I	: 農耕作業における年間作業時間（h/y）
t_L	: 年間居住時間（h/y）
t_{LC}	: 年間被ばく時間（子ども）（h/y）
t_O	: 年間作業時間（h/y）
t_{Sm}	: 養殖淡水産物 m の輸送時間（d）
t_T	: 年間被ばく時間（h/y）（埋立作業者と居住者について個別に選定）
t_{vk}	: 農作物 k の輸送時間（d）
x_w	: 処分場下流端から井戸までの距離（m）

大文字

B_A	: 農耕作業者の呼吸量（m ³ /h）
B_B	: 牧畜作業者の呼吸量（m ³ /h）
B_C	: 建設作業者の呼吸量（m ³ /h）
B_F	: 牧畜作業者の呼吸量（m ³ /h）
B_I	: 農耕作業者の呼吸量（m ³ /h）
B_L	: 居住者の呼吸量（m ³ /h）
B_O	: 作業者の呼吸量（m ³ /h）
B_T	: 呼吸量（m ³ /h）（埋立作業者と居住者について個別に選定）
C_{dust}	: 作業時の空气中粉塵濃度（g/m ³ ）
$C_{dust,A}$: 農耕作業時の空气中粉塵濃度（g/m ³ ）
$C_{dust,B}$: 牧畜作業時の空气中粉塵濃度（g/m ³ ）
$C_{dust,F}$: 牧畜作業時の空气中粉塵濃度（g/m ³ ）
$C_{dust,I}$: 農耕作業時の空气中粉塵濃度（g/m ³ ）

$C_{dust,L}$: 居住時の空气中粉塵濃度 (g/m^3)
$C_{dust,C}$: 建設作業時の空气中粉塵濃度 (g/m^3)
$C_{Fn}(i)$: 畜産物 n 中の核種 i の濃度 (Bq/kg または Bq/L)
$C_{Fn}(t,i)$: 時間 t における畜産物 n 中の核種 i の濃度 (Bq/kg または Bq/L)
$C_{FWn}(t,i)$: 時間 t における畜産物 n 中の核種 i の濃度 (Bq/kg または Bq/L)
$C_{FW}(t,i)$: 時間 t における飼育水中濃度 (Bq/m^3)
$C_{FWn}(t,i)$: 時間 t における畜産物 n 中の核種 i の濃度 (Bq/kg または Bq/L)
$C_{GW}(x,t,i)$: 地下水中の核種 i の濃度 (Bq/m^3)
$C_I(t,i)$: 時間 t における灌漑用水中の核種 i の濃度 (Bq/m^3)
$C_I(t',i)$: 時間 t' における灌漑用水中の核種 i の濃度 (Bq/m^3)
$C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 i の濃度 (Bq/g)
$C_{S,k}(t,i)$: 時間 t における農作物 k を生産する灌漑土壌中の核種 i の濃度 (Bq/kg)
$C_{Sm}(t,i)$: 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_T	: 空気中のトリチウムの濃度 (Bq/m^3)
$C_{vF}(i)$: 飼料中の核種 i の濃度 (Bq/g)
$C_{vF}(t,i)$: 時間 t における飼料中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
$C_{vk}(i)$: 農作物 k 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 (-)
$C_{GW}(x_w,t,i)$: 地下水中の核種 i の濃度 (Bq/m^3)
$C_{WW}(t,i)$: 時間 t における井戸水の核種 i の濃度 (Bq/m^3)
$D_{direct}(i)$: 核種 i による直接経口摂取被ばく線量 ($\mu\text{Sv/y}$)
$D_{ext}(i)$: 核種 i による外部被ばく線量 ($\mu\text{Sv/y}$)
$D_{ING}(t,i)$: 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 ($\mu\text{Sv/y}$)
$D_{ing,v}(i)$: 農作物の摂取に伴う核種 i による内部被ばく線量 ($\mu\text{Sv/y}$)
$D_{ing,F}(i)$: 畜産物摂取に伴う核種 i による内部被ばく線量 ($\mu\text{Sv/y}$)
$D_{ing,F}(t,i)$: 時間 t における畜産物摂取に伴う核種 i による内部被ばく線量 ($\mu\text{Sv/y}$)
$D_{ing,w}(t,i)$: 時間 t における核種 i による飲料水摂取での内部被ばく線量 ($\mu\text{Sv/y}$)
$D_{inh}(i)$: 核種 i による吸入被ばく線量 ($\mu\text{Sv/y}$)
$D_{inh}(T)$: トリチウムによる吸入被ばく線量 ($\mu\text{Sv/y}$)
$D_{skin}(i)$: 核種 i による皮膚汚染による皮膚被ばく線量 ($\mu\text{Sv/y}$)
$DF_{ext}(i)$: 核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 ($\mu\text{Sv/h per Bq/g}$)
$DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取の内部被ばく線量係数 ($\mu\text{Sv/Bq}$)
$DF_{inh}(i)$: 核種 i の吸入被ばくに対する線量係数 ($\mu\text{Sv/Bq}$)
$DF_{inh}(T)$: トリチウムの吸入内部被ばく線量係数 ($\mu\text{Sv/Bq}$)
$DF_{skin}(i)$: 核種 i の皮膚汚染による皮膚被ばく線量換算係数 ($\mu\text{Sv/h per Bq/cm}^2$)

D_T	: 処分場からの平均飛散率 (s^{-1})
D_x	: 地下水流方向の分散係数 (m^2/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 ($3.15 \times 10^{-2} m^2/y$)
$E_{Lk}(i)$: 農作物 k を生産する土壌中核種 i の実効減衰係数 (y^{-1})
	$E_{Lk}(i) = \lambda_i + R_{MSk}(i)$
	$R_{MSk}(i)$: 核種 i の浸透による灌漑土壌からの減衰係数 (y^{-1})
	$R_{MSk}(i) = \frac{R_{IN} + V_{Ik}}{\alpha \cdot \{f_u \cdot s_{uk} + (1 - f_u) \cdot \rho_u \cdot Kd_u(i)\}}$
	R_{IN} : 浸透水量 (m/y)
	α : 実効土壌深さ (m)
	f_u : 灌漑土壌空隙率 (—)
	s_{uk} : 土壌水分飽和度 (—)
	ρ_u : 灌漑土壌真密度 (g/cm^3)
	$Kd_u(i)$: 灌漑土壌の分配係数 (mL/g)
F_{IEk}	: 核種の農作物 k 表面への沈着割合 (—)
F_R	: 核種の土壌残留係数 (—)
G_k	: 農作物 k の市場係数 (—)
G_m	: 養殖淡水産物 m の市場係数 (—)
G_n	: 畜産物 n の市場係数 (—)
H_e	: 有効高さ (m)
H_D	: 処分場の深さ (m)
$J(t, i)$: 時間 t における核種 i の漏出量 (Bq/y)
K_N	: 根からの核種の吸収割合 (—)
L_{dust}	: 皮膚に堆積した粉塵の厚さ (cm)
L_D	: 処分場の長さ (m)
L_e	: 断面方向長さ (m)
M_F	: 核種を含む飼料の混合割合 (—)
P_k	: 農作物 k を生産する土壌実効表面密度 (kg/m^2)
Q_k	: 農作物 k の年間摂取量 (kg-wet/y)
Q_m	: 養殖淡水産物 m の摂取量 (kg/y)
Q_n	: 畜産物 n の摂取量 (kg/y または L/y)
Q_{vn}	: 畜産物 n を生産する家畜の飼料摂取量 (kg-dry/d)
Q_W	: 人の年間飲料水摂取量 (m^3/y)
Q_{Wn}	: 畜産物 n の飼育水摂取量 (L/d)
$R_s(i)$: 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/cm ³)
	$Kd_s(i)$: 帯水層土壌に対する核種 i の分配係数 (mL/g)
R_{SW}		: 養殖淡水産物の地下水利用率 (—)
R_w		: 井戸水の混合割合 (—)
S_A		: 農耕作業時の遮へい係数 (—)
S_B		: 牧畜作業時の遮へい係数 (—)
S_C		: 建設作業時における遮へい係数 (—)
S_F		: 牧畜作業時の遮へい係数 (—)
S_I		: 農耕作業時の遮へい係数 (—)
S_L		: 居住時における遮へい係数 (—)
S_O		: 外部被ばくに対する遮へい係数 (—)
T_A		: 耕作深さ (m)
T_C		: 覆土厚さ (m)
$T_F(i)$: 土壌から飼料への核種 i の移行係数 (Bq/g-dry per Bq/g-dry)
T_I		: 灌漑水年間生育期間 (y)
$T_k(i)$: 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)
$T_n(i)$: 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)
$T_{Sm}(i)$: 核種 i の養殖淡水産物 m への濃縮係数 (L/kg)
T_U		: 建設掘削深さ (m)
$T_{Wn}(i)$: 核種 i の飼育水から畜産物 n への移行係数 (d/L または d/kg)
U_s		: 地下水流速 (m/y)
U_w		: 風速 (m/s)
V_{Ik}		: 農作物 k に対する灌漑水量 (m ³ /m ² /y)
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)
W_D		: 処分場の幅 (m)
Y_{Bk}		: 農作物 k の栽培密度 (kg/m ²)

ギリシア文字小文字

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)
λ_{ei}		: 沈着した核種 i の実効減衰係数 (y ⁻¹)
	$\lambda_{ei} = \lambda_i + \lambda_{wi}$	
	λ_{wi}	: weathering 効果による植物表面沈着核種 i の除去係数 (y ⁻¹)
	λ_i	: 核種 i の崩壊定数 (y ⁻¹)

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)
ρ	: 皮膚に堆積した粉塵の密度 (g/cm^3)
ρ_D	: 処分場嵩密度 (g/cm^3)

2. 再利用・再使用に係る経路の評価モデル

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、原子炉クリアランス報告書（平成11年3月17日 原子力安全委員会）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取りまとめた再評価報告書（平成16年12月9日（平成17年3月10日一部訂正及び修正））において見直しが行われ、以下の(1)～(4)に示すように、線量評価式の変更及び被ばく形態の追加が行われた。そのため、今回行う放射化物を含めた RI 汚染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した。
- (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、吸入する粉塵への放射性核種の濃縮係数を取り入れた。
- (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した。
- (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した。

外部被ばくに対する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 により算出した。

2.1 日常生活時の評価経路（経路 No.1～9）

この被ばく経路においては、放射線発生装置の解体等、RI の使用等によって発生する金属およびコンクリート等の RI 汚染物がクリアランスされた後に、これらを資源として製造された製品等を再利用することによる被ばく線量を計算する。計算にあたっては、先ず、放射線源となる再利用製品中の放射性核種（以下、「核種」という。）の濃度を求める。その後、求めた濃度に基づいて被ばく線量を計算する。

2.1.1 金属再利用（経路 No.1～6）

2.1.1.1 金属再利用製品中、粉塵中、スラグ中の核種の濃度（経路 No.1～6）

(1) 金属再利用製品中の核種の濃度

金属再利用製品中の核種の濃度を計算するに当たっては、以下の要素を考慮する必要がある。

- 再利用される金属中に占められるクリアランス対象物の割合
- クリアランス対象物の発生時点から、再利用されるまでの間の時間減衰
- 熔融時のクリアランス対象物と一般の金属くずの混合割合
- 熔融時の核種の金属成分（インゴット）等への移行割合

したがって、金属再利用製品中の核種の濃度は、次式により求める。

$$C_{Mp}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_i(i) \cdot G_M \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \dots\dots\dots (\text{付 45})$$

(2) 熔融作業時に発生する粉塵中の核種の濃度

$$C_{Md}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_d(i) \cdot G_M \cdot C_{fd} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \dots\dots\dots (\text{付 46})$$

※報告書本文の(18)式としても掲載。

(3) 熔融作業時に発生するスラグ中の核種の濃度

$$C_{Ms}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_s(i) \cdot G_M \cdot C_{fs} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \dots\dots\dots (\text{付 47})$$

※報告書本文の(15)式としても掲載。

2.1.1.2 再利用製品の使用に伴う外部被ばく（経路 No.1、No.2、No.4）

製品利用中の放射能の減衰を考慮している。

$$D_{ext,p}(i) = C_{Mp}(i) \cdot t_p \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (\text{付 48})$$

2.1.1.3 再利用製品の利用に伴う経口摂取による被ばく（経路 No.3）

金属再利用製品であるフライパンを用いて調理することにより、食物に核種が混入し、その食物を摂取することにより想定される内部被ばく線量を求める。

$$D_{ing,f}(i) = C_{Mp}(i) \cdot R_C \cdot A_f \cdot \rho_{Fe} \cdot t_f \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (\text{付 49})$$

2.1.1.4 スクラップ作業場からの排気による周辺居住者の吸入摂取による内部被ばく（経路 No.5）

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を吸入することによる内部被ばく線量を求める。この経路は子どもについても評価する。評価対象とするプロセスは、粉塵の発生量が最も大きいと考えられる金属の熔融処理作業とする。

拡散条件は、煙突の高さ、気象条件等によって大きく異なることから、一義的に選定することが困難である。そこで、工場から排出された粉塵は、評価地点においては大気環境基準に定められた屋外における浮遊粒子状物質濃度に対する基準値まで拡散されるものと仮定する。以下、スクラップ作業場での排気による空气中粉塵の濃度の考え方は同じである。

$$D_{inh,s}(i) = C_{Md}(i) \cdot f_L \cdot f_{dust,inh} \cdot B_R \cdot t_R \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 50)$$

2.1.1.5 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（経路 No.6）

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を求める。この経路は子どもについても評価する。農作物への核種の移行計算に当たっては、農作物への直接沈着と農地に沈着した後の根を通じた農作物への吸収を考慮する。

(1) 農地土壌中の核種の濃度

$$C_S(i) = \left\{ V_g \cdot f_R \cdot C_{Md}(i) \cdot f_s \cdot f_r \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot T_o)}{\lambda_i} \right\} / P \dots\dots\dots (付 51)$$

※報告書本文の(19)式としても掲載。

(2) 農作物中の核種の濃度

$$C_{V_k}(i) = \left[C_S(i) \cdot T_k(i) + V_g \cdot f_R \cdot C_{Md}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_{Bk}} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_i \cdot f_d \dots\dots\dots (付 52)$$

※報告書本文の(20)式としても掲載。

(3) 農作物を摂取することによる内部被ばく線量

$$D_{ing,v}(i) = \sum_k C_{V_k}(i) \cdot Q_k \cdot G_k \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{vk}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 53)$$

※報告書本文の(21)式としても掲載。

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。

$$D_{ing,v}(i) = \sum_k C_{V_k}(i) \cdot Q_k \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 53')$$

※報告書本文の(21')式としても掲載。

2.1.2 コンクリート再利用（経路 No.7～9）

この経路は、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。この経路は子どもについても評価する。

2.1.2.1 壁材等の建築材料中の核種の濃度

$$C_{Cp}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_G \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \cdot F_{CC} \cdot F_{rc} \cdot \frac{F_g}{\rho_c} \dots\dots\dots (付 54)$$

※報告書本文の(12)式としても掲載。

2.1.2.2 再利用コンクリート製品の使用に伴う外部被ばく（経路 No.7）

$$D_{ext,Cp}(i) = C_{Cp}(i) \cdot t_p \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 55)$$

※報告書本文の(13)式としても掲載。

2.1.2.3 スクラップ作業場からの排気に伴う周辺居住者の吸入による内部被ばく（経路 No.8）

(1) コンクリートの前処理作業時に発生する粉塵中の核種の濃度

$$C_{Cd}(i) = C_{Cw}(i) \cdot F_{CC} \cdot G_B \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \dots\dots\dots (付 56)$$

(4) コンクリートの前処理に伴って発生する粉塵の吸入による周辺居住者の内部被ばく線量

$$D_{inh,s}(i) = C_{Cd}(i) \cdot f_L \cdot f_{dust,inh} \cdot B_R \cdot t_R \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 57)$$

2.1.2.4 スクラップ作業場からの排気に伴う周辺居住者の経口摂取による被ばく（経路 No.9）

コンクリートの前処理の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を求める。農作物への核種の移行計算に当たっては、農作物への直接沈着と農地に沈着した後の根を通じた農作物への吸収を考慮する。

(1) 農地土壌中の核種の濃度

$$C_{CS}(i) = \left\{ V_g \cdot f_R \cdot C_{Cd}(i) \cdot f_s \cdot f_r \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot T_o)}{\lambda_i} \right\} / P \dots\dots\dots (付 58)$$

(2) 農作物中の核種の濃度

$$C_{Cvk}(i) = \left[C_{CS}(i) \cdot T_k(i) + V_g \cdot f_R \cdot C_{Cd}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_{Bk}} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_t \cdot f_d \dots\dots (付 59)$$

(3) 農作物を摂取することによる内部被ばく線量

$$D_{ing,Cv}(i) = \sum_k C_{Cvk}(i) \cdot Q_k \cdot G_k \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{vk}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 60)$$

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、上式は以下ようになる。

$$D_{ing,Cv}(i) = \sum_k C_{Cvk}(i) \cdot Q_k \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 60')$$

2.2 就業時の評価経路（経路 No.10～28）

この被ばく評価経路においては、金属及び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を計算するとともに、それらの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を計算する。また、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被ばく線量を計算する。

2.2.1 金属再利用処理（経路 No.10～18）

金属再利用処理の経路では対象物そのものが線源となるので、対象物中の核種の濃度をそのまま用いる。ただし、対象物は、クリアランス対象物が「放射性廃棄物でないもの」や一般の金属くずと混合されるものとする。

2.2.1.1 スクラップ輸送作業（積み下ろし、運搬）に伴う外部被ばく（経路 No.10、No.11s、No.12）

- (1) スクラップ輸送作業（積み下ろし、運搬）に伴う外部被ばく線量

$$D_{ext,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F'_{MC} \cdot S_O \cdot t_O \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 61)$$

- (2) スクラップ輸送作業（積み下ろし）における皮膚汚染による皮膚被ばく線量

$$D_{skin}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F'_{MC} \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_O \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 62)$$

2.2.1.2 スクラップ輸送作業（積み下ろし）に伴う内部被ばく（経路 No.11、No.11d）

- (1) スクラップ輸送作業（積み下ろし）に伴い発生する粉塵吸入による内部被ばく線量

$$D_{inh,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F'_{MC} \cdot f_O \cdot f_{dust,inh} \cdot B_O \cdot t_O \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 63)$$

- (2) 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

$$D_{direct}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F'_{MC} \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_O \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 64)$$

※報告書本文の(14)式としても掲載。

2.2.1.3 スクラップ前処理に伴う外部被ばく（経路 No.13、No.14s）

- (1) スクラップ前処理に伴う外部被ばく線量

$$D_{ext,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot S_O \cdot t_O \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 65)$$

- (2) スクラップ前処理に伴う皮膚汚染による皮膚被ばく線量

$$D_{skin}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot L_{dust} \cdot F_{MC} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_O \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 66)$$

2.2.1.4 スクラップ前処理に伴う内部被ばく（経路 No.14、No.14d）

- (1) スクラップ前処理作業に伴い発生する粉塵吸入による内部被ばく線量

$$D_{inh,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot f_O \cdot f_{dust,inh} \cdot B_O \cdot t_O \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 67)$$

- (2) スクラップ前処理作業に伴い発生する汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量

$$D_{direct}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot f_{C,ing} \cdot F_{MC} \cdot q \cdot t_O \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 68)$$

2.2.1.5 スクラップ溶融・鋳造に伴う外部被ばく（経路 No.15、No.15s）

この経路では、溶融・鋳造によって製造された一次加工品が外部被ばくの線源になる。

(1) スクラップ溶融・鋳造に伴う外部被ばく線量

$$D_{ext,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot S_O \cdot t_O \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (\text{付 } 69)$$

(2) スクラップ溶融・鋳造における皮膚汚染による皮膚被ばく線量

$$D_{skin}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot L_{dust} \cdot F_{MC} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_O \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (\text{付 } 70)$$

2.2.1.6 スクラップの溶融・鋳造に伴う内部被ばく（経路 No.15d）

(1) スクラップの溶融・鋳造作業に伴う汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量

$$D_{direct}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot f_{C,ing} \cdot F_{MC} \cdot q \cdot t_O \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (\text{付 } 71)$$

2.2.1.7 スラグ処理作業に伴う外部被ばく（経路 No.16s）

(1) スラグ処理作業における皮膚汚染による皮膚被ばく線量

$$D_{skin}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_s(i) \cdot G_M \cdot C_{fs} \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_O \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (\text{付 } 72)$$

2.2.1.8 スラグ処理作業に伴う内部被ばく（経路 No.16、No.16d）

(1) スラグ処理作業に伴い発生するスラグ吸入による内部被ばく線量

$$D_{inh,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_s(i) \cdot G_M \cdot C_{fs} \cdot f_O \cdot f_{dust,inh} \cdot B_O \cdot t_O \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (\text{付 } 73)$$

(2) スラグ処理作業に伴い発生する汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量

$$D_{direct}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_s(i) \cdot G_M \cdot C_{fs} \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_O \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (\text{付 } 74)$$

2.2.1.9 製品加工に伴う外部被ばく（経路 No.17、No.18s）

(1) 金属再利用の製品加工に伴う外部被ばく線量

$$D_{ext,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot T_i(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot S_O \cdot t_O \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (\text{付 } 75)$$

(2) 金属再利用の製品加工における皮膚汚染による皮膚被ばく線量

$$D_{skin}(i) = C_{Mw}(i) \cdot T_i(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_o \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \text{ (付 76)}$$

2.2.1.1.0 製品加工に伴う内部被ばく (経路 No.18、No.18d)

(1) 製品加工に伴う粉塵の吸入による内部被ばく線量

$$D_{inh,o}(i) = C_{Mw}(i) \cdot T_i(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot f_o \cdot f_{dust,inh} \cdot B_o \cdot t_o \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \text{ (付 77)}$$

(2) 製品加工に伴う汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量

$$D_{direct}(i) = C_{Mw}(i) \cdot T_i(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot f_{c,ing} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots \text{ (付 78)}$$

2.2.1.1.1 金属再利用

(1) 再利用製品の使用に伴う外部被ばく (経路 No.19～28)

金属再利用製品 (トラック、オートバイ、船舶、机、NC旋盤) の使用に伴う外部被ばく線量を求める。

$$D_{ext,p}(i) = C_{Mp}(i) \cdot t_u \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots \text{ (付 79)}$$

(2) スラグの再利用に伴う外部被ばく (経路 No.24)

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。

(2-1) 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

$$C_A(i) = C_{Ms}(i) \cdot F_{As} \dots \text{ (付 80)}$$

※報告書本文の(16)式としても掲載。

(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

$$D_{ext,o}(i) = C_A(i) \cdot t_u \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots \text{ (付 81)}$$

※報告書本文の(17)式としても掲載。

2.2.2 コンクリート再利用処理 (経路 No.26～28)

2.2.2.1 コンクリート再利用処理 (経路 No.26～28)

(1) コンクリート再利用処理に伴う外部被ばく (経路 No.26、No.27s)

(1-1) 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

$$D_{ext,o}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_B \cdot F_{CC} \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 82)$$

※報告書本文の(22)式としても掲載。

(1-2)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

$$D_{skin}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_B \cdot F_{CC} \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_o \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots (付 83)$$

※報告書本文の(23)式としても掲載。

(2) コンクリート再利用処理に伴う内部被ばく (経路 No.27、No.27d)

(2-1)コンクリートを再利用する際の作業に伴う粉塵の吸入による内部被ばく線量

$$D_{inh,o}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_B \cdot F_{CC} \cdot f_o \cdot f_{dust,inh} \cdot B_o \cdot t_o \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 84)$$

(2-2)コンクリートを再利用する際の作業に伴う汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量

$$D_{direct}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_B \cdot F_{CC} \cdot f_{c,ing} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 85)$$

2.2.3 コンクリート再利用 (経路 No.28)

2.2.3.1 コンクリート再利用に伴う外部被ばく (経路 No.28)

再利用したコンクリート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) 再利用したコンクリートを粗骨材としたアスファルト中の核種*i*の濃度

$$C_A(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_S \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \cdot F_{CC} \cdot F_{AC} \dots\dots\dots (付 86)$$

(2) 再利用したコンクリート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線量

$$D_{ext,o}(i) = C_A(i) \cdot t_u \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 87)$$

2.2.4 金属再使用

2.2.4.1 再使用に伴う外部被ばく (経路 No.25)

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を求める。

$$D_{ext,u}(i) = C_{Mr}(i) \cdot t_u \cdot DF'_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 88)$$

※報告書本文の(24)式としても掲載。

変数リスト（再利用・再使用に係る経路の計算モデル式）

※変数はアルファベット順に記載

小文字

$f_{C,ing}$: 微粒子への放射性物質の濃縮係数（経口摂取）（－）
f_d	: 調理前洗浄等による粒子状物質の残留比（－）
$f_{dust,inh}$: 微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）（－）
$f_{dust,skin}$: 微粒子への放射性物質の濃縮係数（皮膚被ばく）（－）
f_L	: 居住時の空气中粉塵濃度（ g/m^3 ）
f_O	: 作業時の空气中粉塵濃度（ g/m^3 ）
f_R	: スクラップ作業場周辺の空气中粉塵濃度（ g/m^3 ）
f_s	: 粉塵の地表面への沈着割合（－）
f_t	: 農作物の栽培期間年間比（－）
f_r	: 沈着した核種のうち残存する割合（－）
f_v	: 核種の農作物表面への沈着割合（－）
q	: 粉塵の摂取率（ g/h ）
t_i	: 被ばく中の減衰期間（ y ）（1年）
t_f	: フライパンを使った年間調理時間（ h/y ）
t_O	: 作業に伴う年間被ばく時間（ h/y ）
t_p	: 再利用製品年間使用時間（ h/y ）
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 ）
t_R	: 年間居住時間（ h/y ）
t_u	: 年間使用時間（ h/y ）
t_{vk}	: 農作物 k の輸送時間（ d ）

大文字

A_f	: フライパンの表面積（ cm^2 ）
B_O	: 作業者の呼吸量（ m^3/h ）
B_R	: 居住者の呼吸量（ m^3/h ）
$C_A(i)$: アスファルト中の核種 i の濃度（ Bq/g ）
$C_{Cd}(i)$: 粉塵中の核種 i の濃度（ Bq/g ）
$C_{Cp}(i)$: 建築材料中の核種 i の濃度（ Bq/g ）
$C_{Cs}(i)$: 核種 i の土壌中濃度（ Bq/kg ）
$C_{CVk}(i)$: 農作物 k 中における核種 i の濃度（ Bq/kg ）
$C_{Cw}(i)$: 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 ）
C_{fd}	: 粉塵への核種の見かけ上の濃縮係数（－）
C_{fs}	: スラグへの核種の見かけ上の濃縮係数（－）
$C_{Md}(i)$: 粉塵中の核種 i の濃度（ Bq/g ）

$C_{Mp}(i)$: 金属再利用製品 p 中の核種 i の濃度 (Bq/g)
$C_{Mr}(i)$: 再使用品の核種 i の濃度 (Bq/g)
$C_{Ms}(i)$: スラグ中の核種 i の濃度 (Bq/g)
$C_{Mw}(i)$: 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)
$C_S(i)$: 核種 i の土壌中濃度 (Bq/kg)
$C_{Vk}(i)$: 農作物 k 中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
$D_{direct}(i)$: 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)
$D_{ext,Cp}(i)$: 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)
$D_{ext,O}(i)$: 作業時における核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
$D_{ext,p}(i)$: 再利用製品の使用に伴う核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
$D_{ext,u}(i)$: 再使用に伴う核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
$D_{ing,f}(i)$: フライパンの利用に伴う核種 i による経口摂取被ばく線量 (μ Sv/y)
$D_{ing,Cv}(i)$: 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)
$D_{ing,v}(i)$: 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)
$D_{inh,O}(i)$: 作業時における核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
$D_{inh,s}(i)$: 吸入摂取に伴う核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
$D_{skin}(i)$: 核種 i による皮膚汚染による皮膚被ばく線量 (μ Sv/y)
$DF_{ext}(i)$: 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)
$DF'_{ext}(i)$: 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)
$DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取に対する線量係数 (μ Sv/Bq)
$DF_{inh}(i)$: 核種 i の吸入摂取に対する線量係数 (μ Sv/Bq)
$DF_{skin}(i)$: 核種 i の皮膚汚染による皮膚被ばくに対する線量換算係数 (β 線、 γ 線に対する換算係数の和) (μ Sv/h per Bq/cm ²)
F_{AC}	: アスファルトへのコンクリートの混合割合 (—)
F_{As}	: アスファルトへのスラグの混合割合 (—)
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_g	: 建築材料中に占める粗骨材の量 (g/cm ³)
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) (—)
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_{rc}	: 再生粗骨材使用割合 (—)
G_B	: 再利用コンクリート塊の市場係数 (—)
G_G	: 再生粗骨材の市場係数 (—)
G_k	: 農作物 k の市場係数 (—)
G_M	: 再利用金属の市場係数 (—)
G_S	: 再利用コンクリート粗骨材の市場係数 (—)
L_{dust}	: 皮膚に堆積した粉塵の厚さ (cm)

P	: 土壌実効表面密度 (kg/m ²)
Q_k	: 農作物 k の年間摂取量 (kg/y)
R_C	: 鉄の腐食速度 (cm/h)
S_o	: 作業時の外部被ばくに対する遮へい係数 (—)
$T_d(i)$: 核種 i が溶融過程で粉塵中に移行する割合 (—)
T_E	: 農作物の成育時間 (y)
$T_i(i)$: 核種 i が溶融過程でインゴット中に移行する割合 (—)
$T_k(i)$: 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)
T_o	: 核種の放出期間 (y)
$T_s(i)$: 核種 i が溶融過程でスラグ中に移行する割合 (—)
V_g	: 沈着速度 (m/y)
Y_{Bk}	: 農作物 k の栽培密度 (kg/m ²)

ギリシア文字小文字

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)
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)
ρ	: 皮膚に堆積した粉塵の密度 (g/cm ³)
ρ_c	: 建築材料の密度 (g/cm ³)
ρ_{Fe}	: 鉄の密度 (g/cm ³)

3. 焼却処理に係る経路の評価モデル

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、または、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る線量評価式を示す。可燃物等としてクリアランスを行った場合と焼却灰としてクリアランスを行った場合とでは、焼却灰中の放射性核種の濃度の計算式は異なる。

外部被ばくに対する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 により算出した。

3.1 可燃物等の運搬に伴う評価経路（選定経路 No.1～4）

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放射性核種（以下、「核種」という。）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。

3.1.1 可燃物等の積み下ろし作業及び運搬作業（直接線・外部被ばく）（選定経路 No.1、No.4）

$$D_{ext}(i) = C_w(i) \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 89)$$

※報告書本文の(25)式としても掲載。

3.1.2 可燃物等の積み下ろし作業（粉塵吸入による内部被ばく）（選定経路 No.2）

$$D_{inh}(i) = C_w(i) \cdot C_{dust} \cdot f_{dust,inh} \cdot B_o \cdot t_o \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 90)$$

3.1.3 可燃物等の積み下ろし作業（直接経口摂取による内部被ばく）（選定経路 No.3）

$$D_{direct}(i) = C_w(i) \cdot f_{c,ing} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 91)$$

3.1.4 可燃物等の積み下ろし作業（皮膚汚染による皮膚被ばく）（選定経路 No.2s）

$$D_{skin}(i) = C_w(i) \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_o \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 92)$$

3.2 焼却処理施設の運転に伴う評価経路（選定経路 No.5～12）

焼却処理施設の運転に伴う評価経路として、焼却炉の補修作業者が被ばくする経路及び焼却炉からの排気により周辺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。

3.2.1 焼却炉の補修に伴う評価経路（選定経路 No.5～7）

3.2.1.1 焼却炉の補修作業（直接線・外部被ばく）（選定経路 No.5）

(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、炉壁に付着した灰の放射能による作業者の被ばく線量を評価する上で必要な、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*i*の放射エネルギーを求める。
- ・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*i*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*i*の放射エネルギーを求める。
- ・上記の核種*i*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。

$$C_I(i) = \frac{C_{wo}(i) \cdot W_I \cdot 10^3 \cdot (1 - f_I(i)) \cdot f_{dw}}{S \cdot 10^4} \dots\dots\dots (付 93)$$

※報告書本文の(26)式としても掲載。

(2) 焼却炉の補修作業者（直接線・外部被ばく）

$$D_{ext}(i) = C_I(i) \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 94)$$

※報告書本文の(27)式としても掲載。

3.2.1.2 焼却炉の補修作業者（粉塵吸入による内部被ばく）（選定経路 No.6）

(1) 焼却灰中の核種の濃度

焼却灰中の核種の濃度の評価式は、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。

$$C_A(i) = C_w(i) \cdot V_I \cdot F_{Cl} \cdot (1 - f_I(i)) \dots\dots\dots (付 95)$$

※報告書本文の(28)式としても掲載。

(2) 焼却炉の補修作業者（粉塵吸入による内部被ばく）

$$D_{inh}(i) = C_A(i) \cdot C_{dust} \cdot f_{dust,inh} \cdot B_o \cdot t_o \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 96)$$

※報告書本文の(29)式としても掲載。

3.2.2 焼却炉の補修作業者（直接経口摂取による内部被ばく）（選定経路 No.7）

$$D_{direct}(i) = C_A(i) \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 97)$$

3.2.3 焼却炉の補修作業者（皮膚汚染による皮膚被ばく）（選定経路 No.6s）

$$D_{skin}(i) = C_A(i) \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_o \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 98)$$

3.3 焼却炉からの排気に伴う経路（選定経路 No.8～12）

焼却炉周辺の居住者に対しては、焼却炉の排気（プルーム）からの直接線による外部被ばく、焼却炉からの排気を吸入することによる内部被ばく、土壌に沈着した核種からの直接線による外部被ばく、農作物（葉菜）を摂取することによる内部被ばく、畜産物を摂取することによる内部被ばくについて

被ばく線量を評価する。これらの評価経路では子どもに対する評価も行う。

3.3.1 焼却炉の周辺居住者（プルーム・外部被ばく）（選定経路 No.8）

3.3.1.1 空気中の核種の濃度

空気中の核種の濃度の評価式は、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 i の放射エネルギーを求める。
- 単位時間あたりに放出される核種 i の放射エネルギー (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。

$$C_{Air}(i) = \chi \cdot f_I(i) \cdot R \cdot F_{Cl} \cdot C_w(i) \dots\dots\dots (付 99)$$

※報告書本文の(30)式としても掲載。

3.3.1.2 焼却炉の周辺居住者（プルーム・外部被ばく）

$$D_{ext}(i) = C_{Air}(i) \cdot S_R \cdot t_R \cdot DF_{ext,p}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 100)$$

3.3.2 焼却炉の周辺居住者（粉塵吸入による内部被ばく）（選定経路 No.9）

$$D_{inh}(i) = C_{Air}(i) \cdot f_{dust,inh} \cdot B_R \cdot t_R \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 101)$$

3.3.3 焼却炉の周辺居住者（地表面直接線・外部被ばく）（選定経路 No.10）

焼却炉周辺に居住する周辺居住者が、焼却炉から排出される粉塵が地表面に沈着して、それに含まれている核種からの直接線による外部被ばく線量を評価する。

3.3.3.1 土壌中の核種の濃度

$$C_S(i) = \left\{ V_g \cdot C_{Air}(i) \cdot f_s \cdot f_r \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot T_o)}{\lambda_i} \right\} / P \dots\dots\dots (付 102)$$

※報告書本文の(31)式としても掲載。

3.3.3.2 焼却炉の周辺居住者（地表面直接線・外部被ばく）

$$D_{ext}(i) = C_S(i) \cdot S_R \cdot t_R \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 103)$$

3.3.4 焼却炉周辺の農作物摂取者（経口摂取による内部被ばく）（選定経路 No.11）

焼却炉周辺の居住者が、焼却炉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を評価する。農作物（葉菜）への核種の移行計算に当たっては、農作物（葉菜）への直接沈着と農地に沈着した後の根を通じた農作物（葉菜）への吸収を考慮する。

3.3.4.1 農作物中の核種の濃度

$$C_V(i) = \left[C_S(i) \cdot T_V(i) + V_g \cdot C_{Air}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_B} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_t \cdot f_d \dots\dots\dots(付 104)$$

3.3.4.2 焼却炉周辺の農作物摂取者（経口摂取による内部被ばく）

$$D_{ing}(i) = C_V(i) \cdot Q_V \cdot G_V \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_v}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots(付 105)$$

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。

$$D_{ing}(i) = C_V(i) \cdot Q_V \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots(付 105')$$

3.3.5 焼却炉周辺の畜産物摂取者（経口摂取による内部被ばく）（選定経路 No.12）

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（鶏卵、牛乳、牛肉、豚肉及び鶏肉）を摂取することによる被ばく線量を評価する。この経路は子どもについても評価する。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。

3.3.5.1 飼料中の核種の濃度

$$C_{VF}(i) = \left[C_S(i) \cdot T_F(i) + V_g \cdot C_{Air}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_B} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_t \dots\dots\dots(付 106)$$

※報告書本文の(32)式としても掲載。

3.3.5.2 畜産物中の核種の濃度

$$C_{Fn}(i) = T_n(i) \cdot M_F \cdot C_{VF}(i) \cdot Q_{vn} \dots\dots\dots(付 107)$$

※報告書本文の(33)式としても掲載。

3.3.5.3 焼却炉周辺の畜産物摂取者（経口摂取による内部被ばく）

$$D_{ing,F}(i) = \sum_n C_{Fn}(i) \cdot Q_n \cdot G_n \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{Fn}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots(付 108)$$

※報告書本文の(34)式としても掲載。

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。

$$D_{ing,F}(i) = \sum_n C_{Fn}(i) \cdot Q_n \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots(付 108')$$

3.4 焼却灰の埋立作業に伴う評価経路（選定経路 No.13～19）

3.4.1 焼却灰中の核種の濃度

$$C_A(i) = C_W(i) \cdot V_I \cdot F_{Cl} \cdot (1 - f_I(i)) \dots\dots\dots(付 109)$$

※報告書本文の(35)式、(37)式としても掲載。

焼却灰のクリアランスを想定した場合、焼却灰中の核種の濃度は(付 109')式により求める。

$$C_A(i) = C_W(i) \dots\dots\dots (付 109')$$

※報告書本文の(35')式としても掲載。

3.4.1.1 焼却灰の積み下ろし作業、運搬作業及び埋立作業（直接線・外部被ばく）（選定経路 No.13、No.16、No.17）

$$D_{ext}(i) = C_A(i) \cdot S_O \cdot t_O \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 110)$$

3.4.1.2 焼却灰の積み下ろし作業及び埋立作業（粉塵吸入による内部被ばく）（選定経路 No.14、18）

$$D_{inh}(i) = C_A(i) \cdot C_{dust} \cdot f_{dust,inh} \cdot B_O \cdot t_O \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 111)$$

3.4.1.3 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）（選定経路 No.15、No.19）

$$D_{direct}(i) = C_A(i) \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_O \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 112)$$

※報告書本文の(36)式としても掲載。

3.4.1.4 焼却灰の積み下ろし作業及び埋立作業（皮膚汚染による皮膚被ばく）（選定経路 No.14s、No.18s）

$$D_{skin}(i) = C_A(i) \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_O \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 113)$$

3.5 焼却灰の熔融処理施設の運転に伴う評価経路（選定経路 No.20～27）

熔融処理施設の運転に伴う評価経路として、熔融炉の補修作業者が被ばくする経路及び熔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。

3.5.1 熔融炉の補修に伴う評価経路（選定経路 No.20～22）

熔融炉の補修作業者については、熔融炉底部に残存した熔融固化物中の核種からの外部被ばく、熔融固化物から飛散した粉塵を吸入することによる内部被ばく、熔融固化物を直接経口摂取することによる内部被ばく及び皮膚汚染による皮膚被ばくについて被ばく線量を評価する。

3.5.1.1 熔融炉の補修作業（直接線・外部被ばく）（選定経路 No.20）

(1) 熔融固化物中の核種の濃度

$$C_{AM}(i) = C_A(i) \cdot V_{AM} \cdot F_{AM} \cdot (1 - f_{AM}(i)) \dots\dots\dots (付 114)$$

(2) 溶融炉の補修作業（直接線・外部被ばく）

$$D_{ext}(i) = C_{AM}(i) \cdot S_O \cdot t_O \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 115)$$

3.5.1.2 溶融炉の補修作業（粉塵吸入による内部被ばく）（選定経路 No.21）

(1) 溶融炉の補修作業（粉塵吸入による内部被ばく）

$$C_{AM}(i) = C_A(i) \cdot V_{AM} \cdot F_{AM} \cdot (1 - f_{AM}(i)) \dots\dots\dots (付 116)$$

(2) 溶融炉の補修作業（粉塵吸入による内部被ばく）

$$D_{inh}(i) = C_{AM}(i) \cdot C_{dust} \cdot f_{dust,inh} \cdot B_O \cdot t_O \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 117)$$

(3) 溶融炉の補修作業（直接経口による内部被ばく）（選定経路 No.22）

$$D_{direct}(i) = C_{AM}(i) \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_O \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 118)$$

(4) 溶融炉の補修作業（皮膚汚染による皮膚被ばく）（選定経路 No.21s）

$$D_{skin}(i) = C_{AM}(i) \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_O \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 119)$$

3.5.2 溶融炉からの排気に伴う経路

溶融炉周辺の居住者に対しては、溶融炉の排気（プルーム）からの直接線による外部被ばく、溶融炉からの排気を吸入することによる内部被ばく、土壌に沈着した核種からの直接線による外部被ばく、農作物（葉菜）を摂取することによる内部被ばく、畜産物を摂取することによる内部被ばくについて被ばく線量を評価する。これらの評価経路では子どもに対する評価も行う。

3.5.2.1 溶融炉の周辺居住者（プルーム・外部被ばく）（選定経路 No.23）

(1) 空気中の核種の濃度

$$C_{Air}(i) = \chi \cdot f_{AM}(i) \cdot R_{AM} \cdot F_{AM} \cdot C_A(i) \dots\dots\dots (付 120)$$

※報告書本文の(38)式、(42)式としても掲載。

(2) 溶融炉の周辺居住者（プルーム・外部被ばく）

$$D_{ext}(i) = C_{Air}(i) \cdot S_R \cdot t_R \cdot DF_{ext,p}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 121)$$

(3) 溶融炉の周辺居住者（粉塵吸入による内部被ばく）（選定経路 No.24）

$$D_{inh}(i) = C_{Air}(i) \cdot f_{dust,inh} \cdot B_R \cdot t_R \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 122)$$

3.5.2.2 溶融炉の周辺居住者（地表面直接線・外部被ばく）（選定経路 No.25）

溶融炉周辺に居住する周辺居住者が、地表面に沈着した核種からの直接線による被ばく線量を評価する。

(1) 土壌中の核種の濃度

$$C_S(i) = \left\{ V_g \cdot C_{Air}(i) \cdot f_s \cdot f_r \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot T_o)}{\lambda_i} \right\} / P \dots\dots\dots (付 123)$$

※報告書本文の(39)式としても掲載。

(2) 溶融炉の周辺居住者（地表面直接線・外部被ばく）

$$D_{ext}(i) = C_S(i) \cdot S_R \cdot t_R \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 124)$$

3.5.2.3 溶融炉周辺の農作物摂取者（経口摂取による内部被ばく）（選定経路 No.26）

溶融炉周辺の居住者が、溶融炉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を評価する。農作物への核種の移行計算に当たっては、農作物への直接沈着と農地に沈着した後の根を通じた農作物への吸収を考慮する。

(1) 農作物中の核種の濃度

$$C_V(i) = \left[C_S(i) \cdot T_V(i) + V_g \cdot C_{Air}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_B} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_t \cdot f_d \dots\dots\dots (付 125)$$

※報告書本文の(40)式としても掲載。

(2) 溶融炉周辺の農作物摂取者（経口摂取による内部被ばく）

$$D_{ing}(i) = C_V(i) \cdot Q_V \cdot G_V \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_v}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 126)$$

※報告書本文の(41)式としても掲載。

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、上式は以下ようになる。

$$D_{ing}(i) = C_V(i) \cdot Q_V \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 126')$$

3.5.2.4 溶融炉周辺の畜産物摂取者（経口摂取による内部被ばく）（選定経路 No.27）

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。農業用水及び飼育に用いられる用水には核種が含まれていないものとする。

(1) 飼料中の核種の濃度

$$C_{VF}(i) = \left[C_S(i) \cdot T_F(i) + V_g \cdot C_{Air}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_B} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_t \dots\dots\dots (付 127)$$

※報告書本文の(43)式としても掲載。

(2) 畜産物中の核種の濃度

$$C_{Fn}(i) = T_n(i) \cdot M_F \cdot C_{VF}(i) \cdot Q_{vn} \dots\dots\dots (付 128)$$

※報告書本文の(44)式としても掲載。

(3) 溶融炉周辺の畜産物摂取者（経口摂取による内部被ばく）

$$D_{ing,F}(i) = \sum_n C_{Fn}(i) \cdot Q_n \cdot G_n \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{Fn}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 129)$$

※報告書本文の(45)式としても掲載。

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。

$$D_{ing,F}(i) = \sum_n C_{Fn}(i) \cdot Q_n \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (付 129')$$

※報告書本文の(45')式としても掲載。

3.6 溶融固化物の埋立作業に伴う評価経路（選定経路 No.28、No.29）

3.6.1 溶融固化物中の核種の濃度

溶融固化物中の核種の濃度は、「焼却灰中の核種の濃度」を求めるのと同様の考え方に基づいている。

$$C_{AM}(i) = C_A(i) \cdot V_{AM} \cdot F_{AM} \cdot (1 - f_{AM}(i)) \dots\dots\dots (付 130)$$

※報告書本文の(46)式としても掲載。

3.6.2 溶融固化物の積み下ろし作業及び運搬作業（直接線・外部被ばく）（選定経路 No.28、No.29）

$$D_{ext}(i) = C_{AM}(i) \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 131)$$

※報告書本文の(47)式としても掲載。

3.7 溶融固化物の再利用に伴う評価経路（選定経路 No.30、No.31）

溶融固化物を再利用した溶融固化物を骨材に使用した駐車場での作業者の外部被ばく線量および溶融固化物を再利用した壁材等からの外部被ばく線量を求める。

3.7.1 再利用者（溶融固化物を再利用した駐車場からの直接線・外部被ばく）（選定経路 No.30）

3.7.1.1 溶融固化物を再利用したコンクリート中の核種の濃度

$$C_C(i) = C_{AM}(i) \cdot G_{AM} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \cdot F_{C,AM} \dots\dots\dots (付 132)$$

3.7.1.2 再利用者（溶融固化物を再利用した駐車場からの直接線・外部被ばく）

$$D_{ext}(i) = C_C(i) \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 133)$$

3.7.2 再利用者（溶融固化物を再利用した壁材等からの直接線・外部被ばく）（選定経路 No.31）

3.7.2.1 溶融固化物を再利用した壁材中の核種の濃度

$$C_{Cp}(i) = C_{AM}(i) \cdot G_G \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \cdot F_{rc} \cdot \frac{F_g}{\rho_c} \dots\dots\dots (付 134)$$

3.7.2.2 再利用者（溶融固化物を再利用した壁材等からの直接線・外部被ばく）

$$D_{ext}(i) = C_{Cp}(i) \cdot t_p \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (付 135)$$

3.8 焼却処理に係る評価経路の評価式において新たに設定した評価式について

焼却処理に係る評価経路の評価式のうち、原子力安全委員会によるクリアランスレベル評価の評価式にはない、本検討で新たに設定した評価式について以下に示す。

本検討で新たに設定した評価式の式番号を下表に整理する。被ばく線量の評価式、土壌や農畜産物の核種の濃度に関する評価式については、埋設処分及び再利用に係る経路と同様の評価式であり、新たに設定した評価式は、焼却処理及び溶融処理に伴う焼却灰や溶融固化物中の核種の濃度、処理施設周辺の空気中の核種の濃度等である。

表 本検討で新たに設定した評価式の一覧

No.	評価項目	式番号
1	焼却炉壁の表面汚染密度	(付 93)
2	焼却灰中の核種の濃度	(付 95) , (付 109)
3	空気中の核種の濃度	(付 99) , (付 120)
4	溶融固化物中の核種の濃度	(付 114) , (付 116) , (付 130)
5	溶融固化物を再利用したコンクリート中の核種の濃度	(付 132)
6	溶融固化物を再利用した壁材中の核種の濃度	(付 134)

以 上

変数リスト（焼却処理に係る経路の計算モデル式）

※変数はアルファベット順に記載

小文字

$f_{AM}(i)$: 熔融処理において核種 i が排気に移行する割合 (—)
$f_{C,ing}$: 微粒子への放射性物質の濃縮係数 (経口摂取) (—)
f_d	: 調理前洗浄等による粒子状物質の残留比 (—)
$f_{dust,inh}$: 微粒子への放射性物質の濃縮係数 (吸入摂取) (—)
$f_{dust,skin}$: 微粒子への放射性物質の濃縮係数 (皮膚被ばく) (—)
f_{dw}	: 焼却炉壁に付着する割合 (—)
$f_I(i)$: 核種 i が排気に移行する割合 (—)
f_s	: ダストの地表面への沈着割合 (—)
f_t	: 農作物の栽培期間年間比 (—)
f_r	: 沈着した核種のうち残存する割合 (—)
f_v	: 核種の農作物 (葉菜) 表面への沈着割合 (—)
q	: 汚染物質の摂取率 (g/h)
S	: 焼却炉壁の表面積 (m ²)
t_{Fn}	: 畜産物 n の輸送時間 (d)
t_i	: 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)
t_O	: 年間作業時間 (h/y)
t_p	: 再利用製品年間使用時間 (h/y)
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)
t_R	: 年間居住時間 (h/y)
t_v	: 農作物 (葉菜) の輸送時間 (d)

大文字

B_O	: 作業者の呼吸量 (m ³ /h)
B_R	: 周辺居住者の呼吸量 (m ³ /h)
$C_A(i)$: 焼却灰中の核種 i の濃度 (Bq/g)
$C_{Air}(i)$: 空気中の核種 i の濃度 (Bq/m ³)
$C_{AM}(i)$: 熔融固化物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
$C_C(i)$: コンクリート中の核種 i の濃度 (Bq/g)
$C_{Cp}(i)$: 壁材中の核種 i の濃度 (Bq/g)
C_{dust}	: 作業時の空気中粉塵濃度 (g/m ³)
$C_{Fn}(i)$: 畜産物 n 中の核種 i の濃度 (Bq/kg または Bq/L)
$C_I(i)$: 焼却炉壁の核種 i の表面汚染密度 (Bq/cm ²)
$C_S(i)$: 核種 i の土壌中の濃度 (Bq/kg)
$C_V(i)$: 農作物 (葉菜) 中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
$C_{VF}(i)$: 農作物 (飼料) 中における核種 i の濃度 (Bq/kg)

$C_w(i)$: 「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) $C_w(i) = C_{wo}(i) \cdot F_{wc}$ 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 (-)
$C_{wo}(i)$: クリアランス対象廃棄物中の核種 i の濃度 (Bq/g)
$D_{direct}(i)$: 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)
$D_{ext}(i)$: 作業時における核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
$D_{ing}(i)$: 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)
$D_{ing,F}(i)$: 畜産物摂取に伴う核種 i による内部被ばく線量 (μ Sv/y)
$D_{inh}(i)$: 作業時における核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
$D_{skin}(i)$: 作業時における核種 i による皮膚汚染による皮膚被ばく線量 (μ Sv/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)
$DF_{ext,p}(i)$: プルームからの核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/m ³)
$DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取の内部被ばく線量係数 (μ Sv/Bq)
$DF_{inh}(i)$: 核種 i の吸入被ばくに対する線量係数 (μ Sv/Bq)
$DF_{skin}(i)$: 核種 i の皮膚汚染による皮膚被ばく線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/cm ²)
F_{AM}	: 熔融炉での他の焼却灰との混合割合 (-)
$F_{C,AM}$: コンクリートへの熔融固化物の混合割合 (-)
F_{CI}	: 焼却炉での他の廃棄物との混合割合 (-)
F_g	: 建築材料中に占める骨材の量 (g/cm ³)
F_{rc}	: 再生骨材使用割合 (-)
G_{AM}	: 再利用した熔融固化物からなる骨材の市場係数 (-)
G_G	: 再生骨材の市場係数 (-)
G_n	: 畜産物 n の市場係数 (-)
G_V	: 農作物 (葉菜) の市場係数 (-)
L_{dust}	: 皮膚に堆積した粉塵の厚さ (cm)
M_F	: 核種を含む飼料の混合割合 (-)
P	: 土壌実効表面密度 (kg/m ²)
Q_n	: 畜産物 n の摂取量 (kg/y または L/y)
Q_V	: 農作物 (葉菜) の年間摂取量 (kg/y)
Q_{vn}	: 畜産物 n を生産する家畜の飼料摂取量 (kg-dry/d)
R	: 焼却処理能力 (g/s)
R_{AM}	: 熔融処理能力 (g/s)
S_O	: 外部被ばくに対する遮へい係数 (-)
S_R	: 居住時における遮へい係数 (-)
T_E	: 農作物 (葉菜) の生育期間 (y)
$T_F(i)$: 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)
$T_n(i)$: 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)

T_o	: 核種の放出期間 (y)
$T_v(i)$: 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_{AM}	: 熔融処理に伴う廃棄物の減重比 (-)
V_g	: 沈着速度 (m/y)
V_I	: 焼却処理に伴う廃棄物の減重比 (-)
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)
Y_B	: 農作物 (葉菜) の栽培密度 (kg/m ²)

ギリシア文字小文字

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)
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)
ρ	: 皮膚に堆積した粉塵の密度 (g/cm ³)
ρ_c	: 建築材料の密度 (g/cm ³)
χ	: 大気中での分散係数 (s/m ³)

【更新履歴1：平成24年3月27日】

○報告書の一部訂正

- ・表 4.16、表 4.17、表 6.15 及び表 7.1 を差し換える。
- ・206 ページの 14 行目の記述「比率は、60,000*²⁰、170、160、310、130 及び 130 となった。」を「比率は、60,000*²⁰、170、160、310、130 及び 140 となった。」に修正する。

○理由

「RI 汚染物の焼却処理評価経路」に関するクリアランスレベル暫定値の算出過程の中で、計算プログラム上、全ての対象 53 核種に係る外部被ばく線量換算係数のうち「溶融固化物再利用－駐車場」経路と「溶融固化物再利用－壁材等」経路との値が相互に入れ替わって設定されていたことが判明したため、当該経路の外部被ばく線量換算係数を正しく設定して再計算を行ったものである。

この結果、12 核種のクリアランスレベル暫定値が再計算前より増加し、SRS No.44 の放射能濃度値に対する比率も増大したことから、上述の表の差し換えを行ったものである。ただし、最終的に採用したクリアランスレベルには、保守的な値を採用しているため、上記差し換え等による変更はない。

○参考資料

- ・放射線審議会第 120 回総会 資料第 120-3 号：「放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルに関する放射線審議会への諮問に用いた説明資料の差し換えについて【報告】」