

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（案）

平成 21 年 11 月 6 日

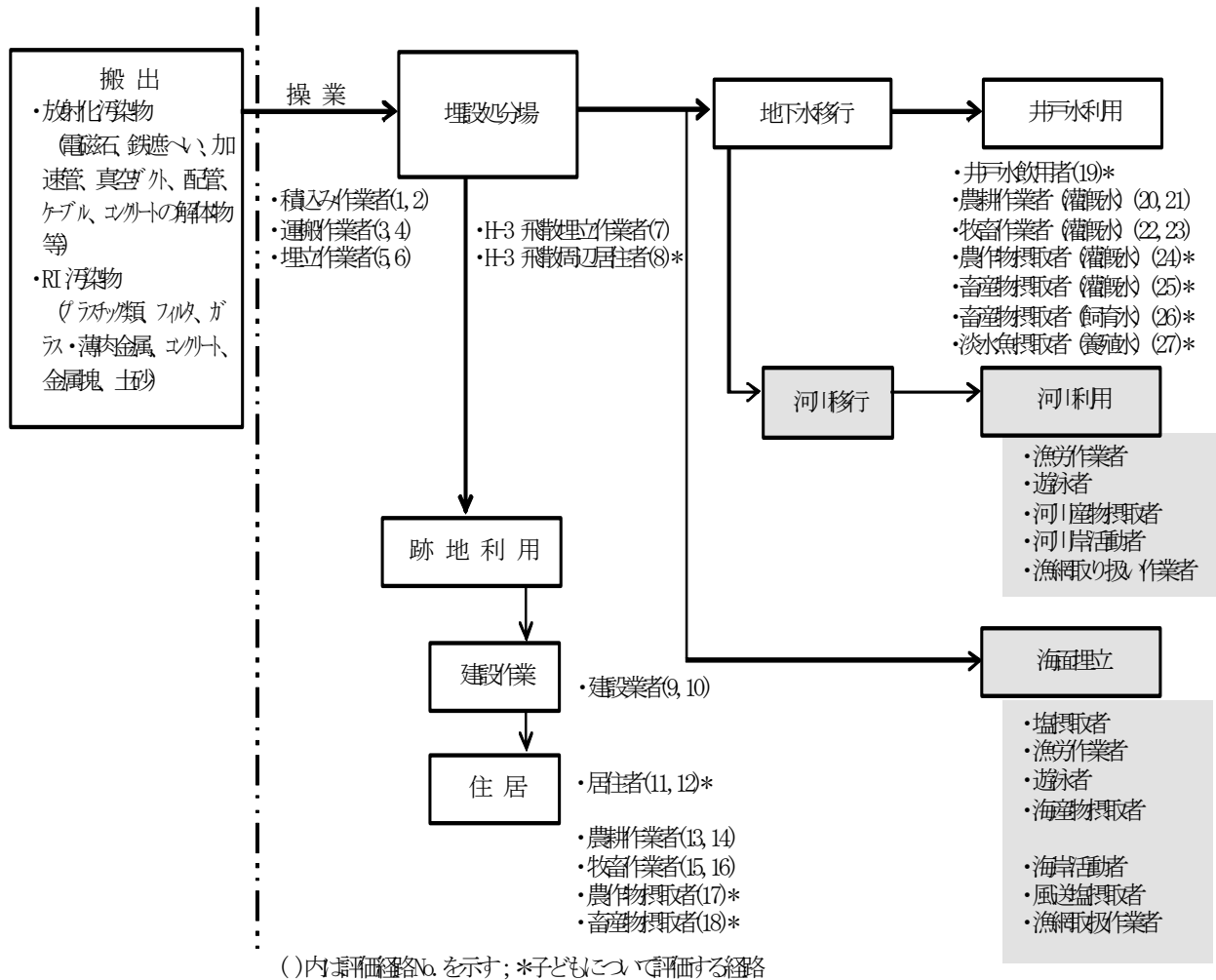
放射線規制室

放射性同位元素（以下、「RI」という。）を使用する施設等から発生する RI で汚染された物（以下、「RI 汚染物」という。）、及び放射線発生装置の使用等に伴って発生する RI 汚染物（以下、「放射化物」という。）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、原子炉施設のクリアランスレベルについて検討した「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 原子力安全委員会）（以下、「原子炉クリアランス報告書」という。）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「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 9 日（平成 17 年 3 月 10 日一部訂正及び修正））」（以下、「再評価報告書」という。）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。

RI 汚染物及び放射化物ともに、クリアランス後の埋設処分については、図 1 及び表 1 から表 3 に示す評価経路でクリアランスレベルの算出を行う。各表は評価経路とその番号、及び使用する線量評価式との対応を示す。

5 ページ以降に、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を示す。



※網掛は、「原子炉施設及び核燃料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報告書において、対象物起因して現実的に起こり得ると想定される全ての評価経路を考慮した上で、他の経路と比較して線量が十分小さいと判断された経路であり、今回の審査においても除く評価経路を示す。

図1 クリアランス対象物の埋設処分に係る評価経路 (RI 汚染物、放射化物)

表 1 クリアランス対象物の埋設処分に係る評価経路一覧 (RI 汚染物、放射化物)

	評価経路	被ばく者		被ばく形態	経路 No.	式番号	
1	処分施設への運搬作業	積み下ろし作業		直接線・外部	1	(1)	
2				粉塵吸入・内部	2	(2)	
3		運搬作業		直接線・外部	3	(1)	
4				粉塵吸入・内部	4	(2)	
5	処分施設の埋設作業	埋設作業		直接線・外部	5	(1)	
6				粉塵吸入・内部	6	(2)	
7	トリチウムの飛散	埋設作業		空気吸入・内部	7	(5), (6)	
8		周辺居住者		空気吸入・内部	8	(5), (6)	
9	埋設地の掘り返し	建設作業		土壌直接線・外部	9	(7), (8)	
10				粉塵吸入・内部	10	(7), (9)	
11		居住者	成人、子ども		土壌直接線・外部	11	(12), (13)
12					粉塵吸入・内部	12	(14), (15)
13		農耕作業		土壌直接線・外部	13	(17), (18)	
14				粉塵吸入・内部	14	(17), (19)	
15		牧畜作業		土壌直接線・外部	15	(20), (21)	
16				粉塵吸入・内部	16	(20), (22)	
17		農作物摂取者	成人、子ども		農作物摂取・内部	17	(23), (24), (25)
18		畜産物摂取者	成人、子ども		畜産物摂取・内部	18	(23), (26), (27)
19	地下水への漏出	井戸水飲用者	成人、子ども		飲料水摂取・内部	19	(28), (29)
20		農耕作業 (灌漑水)		土壌直接線・外部	20	(30), (31), (32)	
21				粉塵吸入・内部	21	(33)	
22		牧畜作業 (灌漑水)		土壌直接線・外部	22	(34), (35), (36)	
23				粉塵吸入・内部	23	(34), (35), (37)	
24		農作物摂取者 (灌漑水)	成人、子ども		農作物摂取・内部	24	(34), (35), (38)
25		畜産物摂取者 (灌漑水)	成人、子ども		畜産物摂取・内部	25	(34), (35), (39)
26		畜産物摂取者 (飼育水)	成人、子ども		畜産物摂取・内部	26	(40), (41), (42)
27		水産物摂取者 (養殖水)	成人、子ども		水産物摂取・内部	27	(43), (44)

表 2 再評価報告書で追加された直接経口摂取の評価経路

	評価経路		被ばく者		被ばく形態	経路 No.	式番号
28	操 業	処分施設への運搬作業	積み下ろし作業		直接経口	2d	(4)
29		処分施設の埋設作業	埋設作業		直接経口	6d	(4)
30	跡 地 利 用	埋設地の掘り返し	建設作業		直接経口	10d	(7), (11)
31		埋設地の掘り返し	居住者	子ども	直接経口	12d	(7), (14)

表 3 再評価報告書で追加された皮膚被ばくの経路経路

	評価経路		被ばく者		被ばく形態	経路 No.	式番号
32	操 業	処分施設への運搬作業	積み下ろし作業		皮膚	2s	(3)
33		処分施設の埋設作業	埋設作業		皮膚	6s	(3)
34	跡 地 利 用	埋設地の掘り返し	建設作業		皮膚	10s	(7), (10)

1. 操業の評価経路（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 積み下ろし作業、運搬作業及び埋設作業（直接線・外部被ばく）（経路 No.1、No.3、No.5）

廃棄物積み下ろし作業、運搬作業及び埋設作業の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、

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

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-CGGP2 により算出する。

1.2 積み下ろし作業、運搬作業及び埋設作業（粉塵吸入による内部被ばく）（経路 No.2、No.4、No.6）

廃棄物積み下ろし作業、運搬作業及び埋設作業の粉塵吸入による内部被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{inh}(i)$: 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)

1.3 積み下ろし作業者及び埋設作業者（皮膚汚染による皮膚被ばく）（経路 No.2s、No.6s）

クリアランス後の積み下ろし作業及び埋設作業を行う作業者の皮膚汚染による被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{Skin}(i)$: 核種 i による皮膚汚染による皮膚被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_W(i)$: 「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 (—)
- L_{dust} : 皮膚に堆積した粉塵の厚さ (cm)
- $f_{dust,skin}$: 皮膚被ばく経路における濃縮係数 (—)
- ρ : 皮膚に堆積した粉塵の密度 (g/cm^3)
- t_O : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{skin}(i)$: 核種 i の皮膚汚染による皮膚被ばく線量換算係数 (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)

1.4 積み下ろし作業員及び埋設作業員（直接経口摂取による内部被ばく）（経路 No.2d、No.6d）

クリアランス後の積み下ろし作業と埋設作業を行う作業員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。

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

ここで、

- $D_{direct}(i)$: 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)

1.5 埋設作業中及び周辺居住者（トリチウム吸入による内部被ばく）（経路 No.7、No.8）

1.5.1 空気中のトリチウムの濃度

埋設作業中及び埋設後に、廃棄物中から空気中に飛散したトリチウムの濃度は、次式により求める。

$$C_T = \frac{C_W(T) \cdot W \cdot D_T}{H_e \cdot L_e \cdot U_W} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

- C_T : 空気中のトリチウムの濃度 (Bq/m³)
- $C_W(T)$: 「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トリチウムの濃度 (Bq/g)
 $C_W(T) = C_{wo}(T) \cdot F_{WC}$
 $C_{wo}(T)$: クリアランス対象廃棄物中のトリチウムの濃度 (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)
- D_T : 処分場からの平均飛散率 (s⁻¹)
- H_e : 有効高さ (m)
- L_e : 断面方向長さ (m)
- U_W : 風速 (m/s)

1.5.2 トリチウム吸入による内部被ばく線量

埋設作業中及び周辺居住者のトリチウムの吸入による内部被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{inh}(T)$: トリチウムによる吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
- C_T : 空気中のトリチウムの濃度 (Bq/m³)
- B_T : 呼吸量 (m³/h) (埋設作業者と居住者について個別に選定)
- t_T : 年間被ばく時間 (h/y) (埋設作業者と居住者について個別に選定)
- $DF_{inh}(T)$: トリチウムの吸入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)

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、隙間に埋め戻しが行なわれ、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。

2.1 建設作業（経路 No.9～10）

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し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、掘削土壌中の放射性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。

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

ここで、

- $C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 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 (—)
- T_U : 建設掘削深さ (m)
- T_C : 覆土厚さ (m)
- 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)

2.1.2 建設作業（土壌直接線・外部被ばく）（経路 No.9）

建設作業者の外部被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{ext}(i)$: 核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- S_C : 建設作業時における遮へい係数 (—)
- t_C : 建設作業における年間作業時間 (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、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-CGGP2 により算出する。

2.1.3 建設作業員（粉塵吸入による内部被ばく）（経路 No.10）

建設作業により発生する空気中粉塵の核種の濃度を計算することにより、その粉塵を吸入する人の内部被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{inh}(i)$: 核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $C_{dust,C}$: 建設作業時の空気中粉塵濃度 (g/m^3)
- $f_{dust,inh}$: 吸入する粉塵への濃縮係数 (—)
- B_C : 建設作業員の呼吸量 (m^3/h)
- t_C : 建設作業における年間作業時間 (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)

2.1.4 建設作業員（皮膚汚染による皮膚被ばく）（経路 No.10s）

建設作業員の皮膚汚染による被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{skin}(i)$: 核種 i による皮膚汚染による皮膚被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 i の濃度 (Bq/g)

L_{dust}	:	皮膚に堆積した粉塵の厚さ (cm)
$f_{dust,skin}$:	皮膚被ばく経路における濃縮係数 (—)
ρ	:	皮膚に堆積した粉塵の密度 (g/cm ³)
t_C	:	建設作業における年間作業時間 (h/y)
$DF_{skin}(i)$:	核種 i の皮膚汚染による皮膚被ばく線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/cm ²)
λ_i	:	核種 i の崩壊定数 (y ⁻¹)
t_i	:	被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

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

建設作業員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。

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

ここで、

$D_{direct}(i)$:	核種 i による直接経口摂取被ばく線量 (μ Sv/y)
$C_M(i)$:	掘削土壌中の核種 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_C	:	建設作業における年間作業時間 (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)

2.2 居住者（経路 No.11～12）

2.2.1 居住者（土壌直接線・外部被ばく）（経路 No.11）

処分場跡地における居住者の外部被ばく線量は、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。

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

ここで、

- $D_{ext}(i)$: 核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- S_L : 居住時における遮へい係数 (—)
- t_L : 年間居住時間 (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、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-CGGP2 により算出する。

2.2.2 居住者（粉塵吸入による内部被ばく）（経路 No.12）

処分場跡地での居住中の粉塵吸入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。

$$y^{-1} \dots\dots\dots (13)$$

ここで、

- $D_{inh}(i)$: 核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $C_{dust,L}$: 居住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_L : 居住者の呼吸量 (m^3/h)
- t_L : 年間居住時間 (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)

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は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{direct}(i)$: 核種 i による直接経口摂取被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $f_{C,ing}$: 直接経口摂取における濃縮係数 (—)
- q_{LC} : 汚染物質の摂取率 (子ども) (g/h)
- t_{LC} : 年間被ばく時間 (子ども) (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)

2.3 農耕作業（経路 No.13～14）

2.3.1 掘削土壌中の核種の濃度

農耕作業は、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で被ばくすることを評価する。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。

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

ここで、

- $C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 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 (—)
- T_U : 覆土厚さ (m)
- T_A : 耕作深さ (m)
- 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)

2.3.2 農耕作業（土壌直接線・外部被ばく）（経路 No.13）

処分場跡地での農耕作業中の外部被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{ext}(i)$: 核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- S_A : 農耕作業時の遮へい係数 (—)
- t_A : 農耕作業における年間作業時間 (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、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-CGGP2 により算出する。

2.3.3 農耕作業（粉塵吸入による内部被ばく）（経路 No.14）

農耕作業の粉塵吸入による内部被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{inh}(i)$: 核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $C_{dust,A}$: 農耕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_A : 農耕作業者の呼吸量 (m^3/h)
- t_A : 農耕作業における年間作業時間 (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)

2.4 牧畜作業者（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と等しいものとする。

2.4.1 牧畜作業者（土壌直接線・外部被ばく）（経路 No.15）

処分場跡地での牧畜作業中の外部被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{ext}(i)$: 核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- S_F : 牧畜作業時の遮へい係数 (—)
- t_F : 牧畜作業における年間作業時間 (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、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-CGGP2 により算出する。

2.4.2 牧畜作業者（粉塵吸入による内部被ばく）（経路 No.16）

牧畜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。

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

ここで、

- $D_{inh}(i)$: 核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_M(i)$: 掘削土壌中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $C_{dust,F}$: 牧畜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_F : 牧畜作業者の呼吸量 (m^3/h)
- t_F : 牧畜作業における年間作業時間 (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)

2.5 農作物摂取者（経路 No.17）

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、根を經由して、農作物に移行するものとする。なお、農業用水には放射能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。

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

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)

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。

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

ここで、

- $D_{ing,v}(i)$: 農作物の摂取に伴う核種 i による内部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{vk}(i)$: 農作物 k 中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- Q_k : 農作物 k の年間摂取量 (kg-wet/y)

- G_k : 農作物 k の市場係数 (—)
- t_{vk} : 農作物 k の輸送時間 (d)
- $DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取の内部被ばく線量係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

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

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

2.6 畜産物摂取者（経路 No.18）

2.6.1 飼料中の核種の濃度

飼料中の核種の濃度は、次式により求める。

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

ここで、

- $C_{vF}(i)$: 飼料中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $T_F(i)$: 土壌から飼料への核種 i の移行係数 (Bq/g-dry per Bq/g-dry)
- 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/cm^3)
- 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)

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、(22)式により求める。

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

ここで、

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

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）

核種を含む飼料で生産された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。また、この経路は子どもについても評価する。

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

ここで、

- $D_{ing,F}(i)$: 畜産物摂取に伴う核種 i による内部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Fn}(i)$: 畜産物 n 中の核種 i の濃度 (Bq/kg または Bq/L)
- Q_n : 畜産物 n の摂取量 (kg/y または L/y)
- G_n : 畜産物 n の市場係数 (-)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_{Fn} : 畜産物 n の輸送時間 (d)
- $DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取の内部被ばく線量係数 (μ Sv/Bq)
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

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

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

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。

3.1 井戸水飲用（経路 No.19）

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。

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

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})

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、 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。

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

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

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 (3.15×10⁻² m²/y)
 λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y⁻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次式により求める。

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

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/m³)
 $C_{GW}(x_w,t,i)$: 地下水中の核種 i の濃度 (Bq/m³)
 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 (－)

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）

井戸水を飲用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。

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

ここで、

- $D_{ing,w}(t,i)$: 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 (μ Sv/y)
 $C_{WW}(t,i)$: 時間 t における井戸水の核種 i の濃度 (Bq/m³)
 Q_w : 人の年間飲料水摂取量 (m³/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)

3.2 灌漑利用（経路 No.20～25）

3.2.1 灌漑土壌の核種の濃度

農地には井戸水を灌漑用水として散布するものとし、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。灌漑土壌中の核種の濃度は次式により求める。

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

ここで、

- $C_{S,k}(t,i)$: 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)
- F_R : 核種の土壌残留係数 (－)
- V_{Ik} : 農作物 k に対する灌漑水量 ($m^3/m^2/y$)
- $C_I(t,i)$: 時間 t における灌漑用水中の核種 i の濃度 (Bq/ m^3)
- P_k : 農作物 k を生産する土壌実効表面密度 (kg/m^2)
- $E_{Lk}(i)$: 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)

なお、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、次式により求める。

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

ここで、

- $C_I(t,i)$: 時間 t における灌漑用水中の核種 i の濃度 (Bq/ m^3)
- $C_{GW}(x_w, t, i)$: 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 (－)

3.2.2 農耕作業（灌漑水、土壌直接線・外部被ばく）（経路 No.20）

核種を含む井戸水で灌漑した農地で農耕作業を行う者の外部被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{ext}(t,i)$: 時間 t における核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{S,k}(t,i)$: 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)
- S_I : 農耕作業時の遮へい係数 (—)
- t_I : 農耕作業における年間作業時間 (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)

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-CGGP2 により算出する。

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）

農耕作業により発生する空気中粉塵を吸入する者の内部被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{inh}(t,i)$: 時間 t における核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{S,k}(t,i)$: 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)
- $C_{dust,I}$: 農耕作業時の空気中粉塵濃度 (g/m^3)
- $f_{dust,inh}$: 吸入する粉塵への濃縮係数 (—)
- B_I : 農耕作業者の呼吸量 (m^3/h)
- t_I : 農耕作業時における年間作業時間 (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)

3.2.4 牧畜作業（灌漑水、土壌直接線・外部被ばく）（経路 No.22）

核種を含む井戸水で灌漑した農地で牧畜作業を行う者の被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{ext}(t,i)$: 時間 t における核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{S,k}(t,i)$: 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)
- S_B : 牧畜作業時の遮へい係数 (—)
- t_B : 牧畜作業における年間作業時間 (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)

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-CGGP2 により算出する。

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

牧畜作業により発生する空气中粉塵を吸入する者の内部被ばく線量は、次式により求める。

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

ここで、

- $D_{inh}(t,i)$: 時間 t における核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{S,k}(t,i)$: 時間 t における農作物 k を生産する灌漑土壤中の核種 i の濃度 (Bq/kg)
- $C_{dust,B}$: 牧畜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_B : 牧畜作業者の呼吸量 (m^3/h)
- t_B : 牧畜作業における年間作業時間 (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)

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）

3.2.6.1 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し、次式により求める。

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

ここで、

- $C_{vk}(t,i)$: 時間 t における農作物 k 中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
- $T_k(i)$: 土壌から農作物 k への核種 i の移行係数 (Bq/g-wet per Bq/g-dry)
- $C_{S,k}(t,i)$: 時間 t における農作物 k を生産する灌漑土壤中の核種 i の濃度 (Bq/kg)
- $C_I(t,i)$: 時間 t における灌漑用水中の核種 i の濃度 (Bq/ m^3)
- V_{lk} : 農作物 k に対する灌漑水量 ($m^3/m^2/y$)
- F_{IEk} : 核種の農作物 k 表面への沈着割合 (—)
- T_I : 灌漑水年間生育期間 (y)
- 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})
- Y_{Bk} : 農作物 k の栽培密度 (kg/m^2)

3.2.6.2 農作物摂取による内部被ばく線量

灌漑土壌で生産された農作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。

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

ここで、

- $D_{ing,v}(t,i)$: 時間 t における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)
- $C_{vk}(t,i)$: 時間 t における農作物 k 中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
- Q_k : 農作物 k の年間摂取量 (kg-wet/y)
- G_k : 農作物 k の市場係数 (—)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_{vk} : 農作物 k の輸送時間 (d)
- $DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取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 と選定しているため、上式は以下のようなになる。

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

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）

3.2.7.1 飼料中の核種の濃度

飼料中の核種の濃度についても、灌漑土壌からの経根吸収と灌漑水の葉面沈着を考慮し、次式により求める。

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

ここで、

- $C_{vF}(t,i)$: 時間 t における飼料中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
- $T_F(i)$: 土壌から飼料への核種 i の移行係数 (Bq/g-dry per Bq/g-dry)
- $C_{S,k}(t,i)$: 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)
- $C_I(t,i)$: 時間 t における灌漑用水中の核種 i の濃度 (Bq/m³)
- V_{Ik} : 農作物 k に対する灌漑水量 (m³/m²/y)
- F_{IEk} : 核種の農作物 k 表面への沈着割合 (—)
- T_I : 灌漑水年間生育期間 (y)
- 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})

Y_{Bk} : 農作物 k の栽培密度 (kg/m^2)

3.2.7.2 畜産物中の核種の濃度

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料（牧草）中の核種の濃度に依存するものとし、次式により求める。

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

ここで、

- $C_{Fn}(t,i)$: 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)
- $T_n(i)$: 飼料から畜産物 n 中への核種 i の移行係数 (d/kg または d/L)
- M_F : 核種を含む飼料の混合割合 (—)
- $C_{vF}(t,i)$: 時間 t における飼料中における核種 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 ($\text{kg-dry}/\text{d}$)

3.2.7.3 畜産物摂取による内部被ばく線量

灌漑土壌で生産された飼料を摂取した家畜の肉や牛乳などの畜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。

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

ここで、

- $D_{ing,F}(t,i)$: 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 ($\mu \text{Sv}/\text{y}$)
- $C_{Fn}(t,i)$: 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)
- Q_n : 畜産物 n の摂取量 (kg/y または L/y)
- G_n : 畜産物 n の市場係数 (—)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_{Fn} : 畜産物 n の輸送時間 (d)
- $DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取の内部被ばく線量係数 ($\mu \text{Sv}/\text{Bq}$)

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

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

3.3 飼育水利用（経路 No.26）

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。

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

ここで、

- $C_{FWn}(t,i)$: 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/m³)
- Q_{Wn} : 畜産物 n の飼育水摂取量 (L/d)
- $T_{Wn}(i)$: 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)

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。

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

ここで、

- $C_{FW}(t,i)$: 時間 t における井戸水の核種 i の濃度 (Bq/m³)
- $C_{GW}(x_w,t,i)$: 地下水中の核種 i の濃度 (Bq/m³)
- 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 (-)

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）

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。

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

ここで、

- $D_{ing,F}(t,i)$: 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 (μ Sv/y)
- $C_{FWn}(t,i)$: 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)
- Q_n : 畜産物 n の摂取量 (kg/y または L/y)
- G_n : 畜産物 n の市場係数 (-)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y⁻¹)
- t_{Fn} : 畜産物 n の輸送時間 (d)
- $DF_{ing}(i)$: 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。

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

3.4 養殖水利用（経路 No.27）

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。計算式を以下に示す。

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

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/m³)
- 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)

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）

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。

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

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。

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