

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

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解体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取りまとめた「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) 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。

RI 汚染物及び放射化物ともに、クリアランス後の再利用・再使用については、本文中の図 2 及び本資料の表 1～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。

4 ページ以降に、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を示す。

表 1 クリアランス対象物の再利用・再使用に係る評価経路一覧 (RI 汚染物、放射化物)

	対象	評価経路		被ばく者	被ばく形態	経路 No.	式番号	
1	日常時	金属再利用	冷蔵庫	再利用製品利用者	成人	直接線・外部	1	(1), (4)
2			ベッド		成人	直接線・外部	2	(1), (4)
3			フライパン		成人	経口摂取・内部	3	(1), (5)
4			鉄筋		成人	直接線・外部	4	(1), (4)
5		作業場周辺居住	周辺居住者	成人、子ども	粉塵吸入・内部	5	(2), (6)	
6				成人、子ども	経口摂取・内部	6	(2), (7), (8), (9)	
7		コンクリート再利用	壁材	再利用製品利用者	成人、子ども	直接線・外部	7	(10), (11)
8			作業場周辺居住	周辺居住者	成人、子ども	粉塵吸入・内部	8	(12), (13)
9					成人、子ども	経口摂取・内部	9	(12), (14), (15), (16)
10	就業時	金属再利用処理	積み下ろし	スクラップ積み下ろし作業者	直接線・外部	10	(17)	
11					粉塵吸入・内部	11	(19)	
12			運転	スクラップ運搬作業者	直接線・外部	12	(17)	
13			前処理	スクラップ前処理作業者	直接線・外部	13	(21)	
14					粉塵吸入・内部	14	(23)	
15			溶融・鋳造作業	溶融・鋳造作業者	直接線・外部	15	(25)	
16			スラグ処理作業	スラグ処理作業者	粉塵吸入・内部	16	(29)	
17		製品加工	加工作業者	直接線・外部	17	(31)		
18				粉塵吸入・内部	18	(33)		
19		金属再利用	トラック	再利用製品利用者	直接線・外部	19	(1), (35)	
20			オートバイ		直接線・外部	20	(1), (35)	
21			船舶		直接線・外部	21	(1), (35)	
22			機		直接線・外部	22	(1), (35)	
23			NC旋盤		直接線・外部	23	(1), (35)	
24	スラグ駐車場		直接線・外部		24	(3), (36), (37)		
25	コンクリート再利用	再利用処理	再利用処理作業者	直接線・外部	26	(38)		
26				粉塵吸入・内部	27	(40)		
27	駐車場	駐車場での作業者	直接線・外部	28	(42), (43)			
28	金属再使用*	電源	再使用者	直接線・外部	25	(44)		

*：放射化物のみ

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

対象	評価経路		被ばく者	被ばく形態	経路 No.	式番号
31	就業時	金属再利用処理	スクラップ積み下ろし作業	スクラップ積み下ろし作業	直接経口	11d (20)
32			スクラップ前処理	スクラップ前処理	直接経口	14d (24)
33			溶融・鋳造	溶融・鋳造	直接経口	15d (27)
34			スラグ処理	スラグ処理	直接経口	16d (30)
35			製品加工	加工	直接経口	18d (34)
36	コンクリート再利用	再利用	再利用	直接経口	27d (41)	

表 3 再評価報告書で追加された皮膚被ばくの評価経路

対象	評価経路		被ばく者	被ばく形態	経路 No.	式番号
37	就業時	金属再利用処理	スクラップ積み下ろし作業	スクラップ積み下ろし作業	皮膚	11s (18)
38			スクラップ前処理	スクラップ前処理	皮膚	14s (22)
39			溶融・鋳造	溶融・鋳造	皮膚	15s (26)
40			スラグ処理	スラグ処理	皮膚	16s (28)
41			製品加工	加工	皮膚	18s (32)
42	コンクリート再利用	再利用	再利用	皮膚	27s (39)	

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、まず、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。

1.1 金属再利用（経路No. 1～6）

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）

1.1.1.1 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。

$$C_{Mp}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_i(i) \cdot G_M \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \cdots \cdots \cdots (1)$$

ここで、

- $C_{Mp}(i)$: 金属再利用製品 p 中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- F_{MC} : 再利用される金属中のクリアランス対象物割合（スクラップ輸送作業以外）（－）
- $T_i(i)$: 核種 i が熔融過程でインゴット中に移行する割合（－）
- G_M : 再利用金属の市場係数（－）
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
 $\lambda_i = \ln 2 / T_{1/2}(i)$
 $T_{1/2}(i)$: 核種 i の半減期 (y) （以下同様）
- 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)

1.1.1.2 熔融作業時に発生する粉塵中の核種の濃度

熔融作業時に発生する粉塵中の核種の濃度は、粉塵への核種の見かけ上の濃縮を考慮して、次式により求める。

$$C_{Md}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_d(i) \cdot G_M \cdot C_{fd} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \cdots \cdots \cdots (2)$$

ここで、

- $C_{Md}(i)$: 粉塵中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- F_{MC} : 再利用される金属中のクリアランス対象物割合（スクラップ輸送作業以外）（－）

- $T_d(i)$: 核種 i が溶融過程で粉塵中に移行する割合 (—)
- G_M : 再利用金属の市場係数 (—)
- C_{fd} : 粉塵への核種の見かけ上の濃縮係数 (—)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_{pd} : クリアランスされた後から再利用されるまでの時間 (y)

1.1.1.3 溶融作業時に発生するスラグ中の核種の濃度

溶融作業時に発生するスラグ中の核種の濃度は、スラグへの核種の見かけ上の濃縮を考慮して、次式により求める。

$$C_{Ms}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_s(i) \cdot G_M \cdot C_{fs} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \cdots \cdots \cdots (3)$$

ここで、

- $C_{Ms}(i)$: 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)
- F_{MC} : 再利用される金属中のクリアランス対象物割合 (スクラップ輸送作業以外) (—)
- $T_s(i)$: 核種 i が溶融過程でスラグ中に移行する割合 (—)
- G_M : 再利用金属の市場係数 (—)
- C_{fs} : スラグへの核種の見かけ上の濃縮係数 (—)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_{pd} : クリアランスされた後から再利用されるまでの時間 (y)

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)

金属再利用製品 p の使用に伴う核種 i からの外部被ばく線量は、製品利用中の放射能の減衰を考慮し、次式により求める。本評価で該当する製品は、冷蔵庫、ベッド、鉄筋である。

$$D_{ext,p}(i) = C_{Mp}(i) \cdot t_p \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \cdots \cdots \cdots (4)$$

ここで、

- $D_{ext,p}(i)$: 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)
- $C_{Mp}(i)$: 金属再利用製品 p 中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- t_p : 再利用製品年間使用時間 (h/y)
- $DF_{ext}(i)$: 核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

なお、外部被ばくに対する線量換算係数は、再利用された金属製品 (線源) をそれぞれに応じた形状にモデル化し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により計算する。

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る内部被ばくが想定される。この線量は次式により求める。

$$D_{ing,f}(i) = C_{Mp}(i) \cdot R_C \cdot A_f \cdot \rho_{Fe} \cdot t_f \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

- $D_{ing,f}(i)$: 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)
- $C_{Mp}(i)$: 金属再利用製品 p 中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- R_C : 鉄の腐食速度 (cm/h)
- A_f : フライパンの表面積 (cm^2)
- ρ_{Fe} : 鉄の密度 (g/cm^3)
- t_f : フライパンを使った年間調理時間 (h/y)
- $DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取に対する線量係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1 年)

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は、以下の式で計算する。なお、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溶融処理作業とする。

しかしながら、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。

したがって、スクラップ作業場周辺に居住する人が、排気中に含まれる粉塵を吸入することによる内部被ばく線量は、次式で計算する。なお、この経路は子どもについても評価する。

$$D_{inh,s}(i) = C_{Md}(i) \cdot f_L \cdot f_{dust,inh} \cdot B_R \cdot t_R \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、

- $D_{inh,s}(i)$: 吸入摂取に伴う核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Md}(i)$: 粉塵中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- f_L : 居住時の空气中粉塵濃度 (g/m^3)
- $f_{dust,inh}$: 吸入する粉塵に対する核種 i の濃縮係数 (—)

- B_R : 居住者の呼吸量 (m³/h)
- t_R : 年間居住時間 (h/y)
- $DF_{inh}(i)$: 核種 i の吸入摂取に対する線量係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y⁻¹)
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

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計算する。なお、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。また、この経路は子どもについても評価する。

1.1.5.1 農地土壌中の核種の濃度

農地土壌中の核種の濃度は、次式により求める。

$$C_S(i) = \left\{ V_g \cdot f_R \cdot C_{Md}(i) \cdot f_s \cdot f_r \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot T_o)}{\lambda_i} \right\} / P \dots\dots\dots (7)$$

ここで、

- $C_S(i)$: 核種 i の土壌中濃度 (Bq/kg)
- V_g : 沈着速度 (m/y)
- f_R : スクラップ作業場周辺の空気中粉塵濃度 (g/m³)
- $C_{Md}(i)$: 粉塵中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- f_s : 粉塵の地表面への沈着割合 (-)
- f_r : 沈着した核種のうち残存する割合 (-)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y⁻¹)
- T_o : 核種の放出期間 (y)
- P : 土壌実効表面密度 (kg/m²)

1.1.5.2 農作物中の核種の濃度

根からの吸収と葉菜表面への沈着を考慮した農作物中の核種の濃度は、次式により求める。

$$C_{V_k}(i) = \left[C_S(i) \cdot T_k(i) + V_g \cdot f_R \cdot C_{Md}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_{Bk}} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_t \cdot f_d \dots\dots\dots (8)$$

ここで、

- $C_{V_k}(i)$: 農作物 k 中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
- $C_S(i)$: 核種 i の土壌中濃度 (Bq/kg)
- $T_k(i)$: 土壌から農作物 k への核種 i の移行係数
(Bq/kg-農作物 per Bq/kg-土壌)

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

1.1.5.3 農作物を摂取することによる内部被ばく線量

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。

$$D_{ing,v}(i) = \sum_k C_{Vk}(i) \cdot Q_k \cdot G_k \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{vk}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \cdots \cdots \cdots (9)$$

ここで、

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

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

$$D_{ing,v}(i) = \sum_k C_{Vk}(i) \cdot Q_k \cdot DF_{ing}(i) \cdots \cdots \cdots (9')$$

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。また、この経路は子どもについても評価する。

1.2.1 建築材料中の核種の濃度（経路No. 7）

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

$$C_{Cp}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_G \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \cdot F_{CC} \cdot F_{rc} \cdot \frac{F_g}{\rho_c} \dots\dots\dots (10)$$

ここで、

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

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）

再利用コンクリート製品の使用に伴う外部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{ext,Cp}(i) = C_{Cp}(i) \cdot t_p \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (11)$$

ここで、

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

なお、外部被ばくに対する線量換算係数は、再利用されたコンクリート製品（線源）をそれぞれに応じた形状にモデル化し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により計算する。

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）

1.2.3.1 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

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は、次式により求める。

$$C_{Cd}(i) = C_{Cw}(i) \cdot F_{CC} \cdot G_B \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \dots\dots\dots (12)$$

ここで、

- $C_{Cd}(i)$: 粉塵中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $C_{Cw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象コンクリート中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- 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 (—)
- G_B : 再利用コンクリート塊の市場係数 (—)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_{pd} : クリアランスされた後から再利用されるまでの時間 (y)

1.2.3.2 粉塵の吸入による内部被ばく線量

コンクリートの前処理に伴って発生する粉塵を周辺居住者が吸入することによる内部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{inh,s}(i) = C_{Cd}(i) \cdot f_L \cdot f_{dust,inh} \cdot B_R \cdot t_R \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (13)$$

ここで、

- $D_{inh,s}(i)$: コンクリートの前処理に伴って発生する粉塵の吸入摂取に伴う核種 i による内部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Cd}(i)$: 粉塵中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- f_L : 居住時の空气中粉塵濃度 (g/m^3)
- $f_{dust,inh}$: 吸入する粉塵に対する核種 i の濃縮係数 (—)
- B_R : 居住者の呼吸量 (m^3/h)
- t_R : 年間居住時間 (h/y)
- $DF_{inh}(i)$: 核種 i の吸入摂取に対する線量係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

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計算する。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。

1.2.4.1 農地土壌中の核種の濃度

農地土壌中の核種の濃度は、次式により求める。

$$C_{CS}(i) = \left\{ V_g \cdot f_R \cdot C_{Cd}(i) \cdot f_s \cdot f_r \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot T_o)}{\lambda_i} \right\} / P \dots\dots\dots (14)$$

ここで、

- $C_{CS}(i)$: 核種 i の土壌中濃度 (Bq/kg)
- V_g : 沈着速度 (m/y)
- f_R : スクラップ作業場周辺の空気中粉塵濃度 (g/m³)
- $C_{Cd}(i)$: 粉塵中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- f_s : 粉塵の地表面への沈着割合 (—)
- f_r : 沈着した核種のうち残存する割合 (—)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y⁻¹)
- T_o : 核種の放出期間 (y)
- P : 土壌実効表面密度 (kg/m²)

1.2.4.2 農作物中の核種の濃度

根からの吸収と葉菜表面への沈着を考慮した農作物中の核種の濃度は、次式により求める。

$$C_{CVk}(i) = \left[C_{CS}(i) \cdot T_k(i) + V_g \cdot f_R \cdot C_{Cd}(i) \cdot \frac{f_v}{Y_{Bk}} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{ei} \cdot T_E)}{\lambda_{ei}} \right] \cdot f_t \cdot f_d \dots\dots (15)$$

ここで、

- $C_{CVk}(i)$: 農作物 k 中における核種 i の濃度 (Bq/kg)
- $C_{CS}(i)$: 核種 i の土壌中濃度 (Bq/kg)
- $T_k(i)$: 土壌から農作物 k への核種 i の移行係数
(Bq/kg-農作物 per Bq/kg-土壌)
- V_g : 沈着速度 (m/y)
- f_R : スクラップ作業場周辺の空気中粉塵濃度 (g/m³)
- $C_{Cd}(i)$: 粉塵中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- f_v : 核種の農作物表面への沈着割合 (—)
- Y_{Bk} : 農作物 k の栽培密度 (kg/m²)
- λ_{ei} : 沈着した核種 i の実効減衰係数 (y⁻¹)
 $\lambda_{ei} = \lambda_i + \lambda_{iw}$
ただし、
 λ_{iw} : weathering 効果による植物表面沈着核種の除去係数 (y⁻¹)
- T_E : 農作物の成育時間 (y)
- f_t : 農作物の栽培期間年間比 (—)
- f_d : 調理前洗浄等による粒子状物質の残留比 (—)

1.2.4.3 農作物を摂取することによる内部被ばく線量

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。

$$D_{ing,Cv}(i) = \sum_k C_{CVk}(i) \cdot Q_k \cdot G_k \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{vk}}{365}\right) \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (16)$$

ここで、

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

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

$$D_{ing,Cv}(i) = \sum_k C_{CVk}(i) \cdot Q_k \cdot DF_{ing}(i) \dots\dots\dots (16')$$

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。

2.1 金属再利用処理（経路No. 10～18）

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

この経路では、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。この経路では、スクラップ輸送作業（積み下ろし、運転）に伴う外部被ばく線量と、スクラップ輸送作業（積み下ろし）での皮膚汚染による皮膚被ばく線量を評価する。

2.1.1.1 スクラップ輸送作業（積み下ろし、運転）に伴う外部被ばく線量

スクラップ輸送作業（積み下ろし、運転）に伴う外部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{ext,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F'_{MC} \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (17)$$

ここで、

- $D_{ext,O}(i)$: 作業時における核種*i*による外部被ばく線量（ μ Sv/y）
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種*i*の濃度（Bq/g）
- F'_{MC} : 再利用される金属中のクリアランス対象物割合（スクラップ輸送作業）（－）
- S_o : 作業時の外部被ばくに対する遮へい係数（－）
- t_o : 作業に伴う年間被ばく時間（h/y）
- $DF_{ext}(i)$: 核種*i*の外部被ばくに対する線量換算係数（ μ Sv/h per Bq/g）
- λ_i : 核種*i*の崩壊定数（ y^{-1} ）
- t_i : 被ばく中の減衰期間（y）（1年）

なお、外部被ばくに対する線量換算係数は、再利用される金属（線源）の形状をそれぞれの作業形態に応じてモデル化し、点減衰核積分法による遮へい計算コードQAD-CGGP2Rにより計算する。

2.1.1.2 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

積み下ろし作業における作業者の皮膚汚染による被ばくは、次式により求める。

$$D_{skin}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F'_{MC} \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_o \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots (18)$$

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)
$C_{Mw}(i)$:	再利用されるクリアランス対象金属中の核種 i の濃度 (Bq/g)
F'_{MC}	:	再利用される金属中のクリアランス対象物割合 (スクラップ輸送作業) (—)
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)
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)

2.1.2 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)

この経路では、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。この経路では、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と汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量を評価する。

2.1.2.1 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

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は、次式により求める。

$$D_{inh,o}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F'_{MC} \cdot f_o \cdot f_{dust,inh} \cdot B_o \cdot t_o \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots (19)$$

ここで、

$D_{inh,o}(i)$:	作業時における核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
$C_{Mw}(i)$:	再利用されるクリアランス対象金属中の核種 i の濃度 (Bq/g)
F'_{MC}	:	再利用される金属中のクリアランス対象物割合 (スクラップ輸送作業) (—)
f_o	:	作業時の空气中粉塵濃度 (g/m^3)
$f_{dust,inh}$:	吸入する粉塵に対する核種 i の濃縮係数 (—)
B_o	:	作業者の呼吸量 (m^3/h)
t_o	:	作業に伴う年間被ばく時間 (h/y)
$DF_{inh}(i)$:	核種 i の吸入摂取に対する線量係数 (μ Sv/Bq)
λ_i	:	核種 i の崩壊定数 (y^{-1})

t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

2.1.2.2 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

スクラップ輸送作業（積み下ろし）に伴う汚染物質の直接経口摂取による内部被ばくは、次式により求める。

$$D_{direct}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F'_{MC} \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (20)$$

ここで、

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

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

この経路では、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。この経路では、外部被ばく線量と、皮膚汚染による皮膚被ばく線量を評価する。

2.1.3.1 スクラップ前処理に伴う外部被ばく線量

スクラップ前処理に伴う外部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{ext,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (21)$$

ここで、

- $D_{ext,O}(i)$: 作業における核種*i*による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
- G_M : 再利用金属の市場係数（－）

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）（－）
S_o	:	作業時の外部被ばくに対する遮へい係数（－）
t_o	:	作業に伴う年間被ばく時間（h/y）
$DF_{ext}(i)$:	核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数（ μ Sv/h per Bq/g）
λ_i	:	核種 i の崩壊定数（ y^{-1} ）
t_i	:	被ばく中の減衰期間（y）（1年）

なお、外部被ばくに対する線量換算係数は、再利用された金属製品（線源）をそれぞれに応じた形状にモデル化し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により計算する。

2.1.3.2 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

スクラップ前処理作業における作業者の皮膚汚染による被ばくは、次式により求める。

$$D_{skin}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot L_{dust} \cdot F_{MC} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_o \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \quad (22)$$

ここで、

$D_{skin}(i)$:	核種 i による皮膚汚染による皮膚被ばく線量（ μ Sv/y）
$C_{Mw}(i)$:	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）
G_M	:	再利用金属の市場係数（－）
L_{dust}	:	皮膚に堆積した粉塵の厚さ（cm）
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）（－）
$f_{dust,skin}$:	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 ）
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 スクラップ前処理に伴う内部被ばく（経路No. 14, No. 14d）

この経路では、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。この経路では、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と汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量を評価する。

2.1.4.1 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

粉塵吸入による内部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{inh,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot f_o \cdot f_{dust,inh} \cdot B_o \cdot t_o \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots (23)$$

ここで、

- $D_{inh,O}(i)$: 作業における核種 i による吸入被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- G_M : 再利用金属の市場係数 (—)
- 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_o : 作業時の空气中粉塵濃度 (g/m^3)
- $f_{dust,inh}$: 吸入する粉塵に対する核種 i の濃縮係数 (—)
- B_o : 作業者の呼吸量 (m^3/h)
- t_o : 作業に伴う年間被ばく時間 (h/y)
- $DF_{inh}(i)$: 核種 i の吸入摂取に対する線量係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1 年)

2.1.4.2 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

スクラップ前処理作業に伴う汚染物質の直接経口摂取による内部被ばくは、次式で計算する。

$$D_{direct}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot f_{C,ing} \cdot F_{MC} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots (24)$$

ここで、

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

2.1.5 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。この経路では、外部被ばく線量と、皮膚汚染による皮膚被ばく線量を評価する。

2.1.5.1 スクラップ溶融・鋳造に伴う外部被ばく線量

スクラップ溶融・鋳造に伴う外部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{ext,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot S_O \cdot t_O \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (25)$$

ここで、

- $D_{ext,O}(i)$: 作業における核種*i*による外部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
- G_M : 再利用金属の市場係数 (－)
- 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) (－)
- S_O : 作業時の外部被ばくに対する遮へい係数 (－)
- t_O : 作業に伴う年間被ばく時間 (h/y)
- $DF_{ext}(i)$: 核種*i*の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
- λ_i : 核種*i*の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

なお、外部被ばくに対する線量換算係数は、再利用された金属製品（線源）をそれぞれに応じた形状にモデル化し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により計算する。

2.1.5.2 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

スクラップ溶融・鋳造作業における作業者の皮膚汚染による被ばくは、次式により求める。

$$D_{skin}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot L_{dust} \cdot F_{MC} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_O \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (26)$$

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)
- $C_{Mw}(i)$: 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)
- G_M : 再利用金属の市場係数 (－)
- L_{dust} : 皮膚に堆積した粉塵の厚さ (cm)
- 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) (－)
- $f_{dust,skin}$: 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)
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)

2.1.6 スクラップの溶融・鋳造に伴う内部被ばく (経路No. 15d)

この経路では、スクラップの溶融・鋳造における作業者の汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量を評価する。

2.1.6.1 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

スクラップ溶融・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は、次式により求める。

$$D_{direct}(i) = C_{Mw}(i) \cdot G_M \cdot f_{C,ing} \cdot F_{MC} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (27)$$

ここで、

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

2.1.7 スラグ処理作業に伴う外部被ばく (経路No. 16s)

この経路では、スラグ処理作業に伴う皮膚汚染による皮膚被ばく線量を評価する。

2.1.7.1 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

スラグ処理作業における作業者の皮膚汚染による被ばくは、次式により求める。

$$D_{skin}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_s(i) \cdot G_M \cdot C_{fs} \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_o \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \quad (28)$$

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)
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
- F_{MC} : 再利用される金属中のクリアランス対象物割合 (スクラップ輸送作業以外) (—)
- $T_s(i)$: 核種*i*が溶融過程でスラグ中に移行する割合 (—)
- G_M : 再利用金属の市場係数 (—)
- C_{fs} : スラグへの核種の見かけ上の濃縮係数 (—)
- 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/cm²)
- λ_i : 核種*i*の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

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

この経路では、スラグを取り扱う作業者の粉塵吸入による内部被ばく線量と汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量を評価する。

2.1.8.1 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

スラグ吸入による内部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{inh,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_s(i) \cdot G_M \cdot C_{fs} \cdot f_o \cdot f_{dust,inh} \cdot B_o \cdot t_o \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \quad (29)$$

ここで、

- $D_{inh,O}(i)$: 作業における核種*i*による吸入内部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種*i*の濃度 (Bq/g)
- F_{MC} : 再利用される金属中のクリアランス対象物割合 (スクラップ輸送作業以外) (—)
- $T_s(i)$: 核種*i*が溶融過程でスラグ中に移行する割合 (—)
- G_M : 再利用金属の市場係数 (—)
- C_{fs} : スラグへの核種の見かけ上の濃縮係数 (—)
- f_o : 作業時の空气中粉塵濃度 (g/m^3)
- $f_{dust,inh}$: 吸入する粉塵に対する核種*i*の濃縮係数 (—)
- B_o : 作業者の呼吸量 (m^3/h)

- t_o : 作業に伴う年間被ばく時間 (h/y)
- $DF_{inh}(i)$: 核種 i の吸入摂取に対する線量係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1 年)

2.1.8.2 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

汚染物質の直接経口摂取による内部被ばくは、次式により求める。

$$D_{direct}(i) = C_{Mw}(i) \cdot F_{MC} \cdot T_s(i) \cdot G_M \cdot C_{fs} \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \quad (30)$$

ここで、

- $D_{direct}(i)$: 作業における核種 i による直接経口摂取被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- F_{MC} : 再利用される金属中のクリアランス対象物割合 (スクラップ輸送作業以外) (—)
- $T_s(i)$: 核種 i が溶融過程でスラグ中に移行する割合 (—)
- G_M : 再利用金属の市場係数 (—)
- C_{fs} : スラグへの核種の見かけ上の濃縮係数 (—)
- $f_{C,ing}$: 直接経口摂取経路における濃縮係数 (—)
- q : 汚染物質の摂取率 (g/h)
- t_o : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取に対する線量換算係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰時間 (y)

2.1.9 製品加工に伴う外部被ばく (経路No. 17, No. 18s)

この経路では、外部被ばく線量と、皮膚汚染による皮膚被ばく線量を評価する。

2.1.9.1 製品加工に伴う外部被ばく線量

金属再利用の製品加工に伴う外部被ばくは、次式により求める。

$$D_{ext,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot T_i(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot S_o \cdot t_o \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots \dots \dots (31)$$

ここで、

- $D_{ext,O}(i)$: 作業における核種 i による外部被ばく線量 (μ Sv/y)

$C_{Mw}(i)$:	再利用されるクリアランス対象金属中の核種 i の濃度 (Bq/g)
$T_i(i)$:	核種 i が溶融過程でインゴット中に移行する割合 (—)
G_M	:	再利用金属の市場係数 (—)
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) (—)
S_o	:	作業時の外部被ばくに対する遮へい係数 (—)
t_o	:	作業に伴う年間被ばく時間 (h/y)
$DF_{ext}(i)$:	核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
λ_i	:	核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
t_i	:	被ばく中の減衰期間 (y) (1 年)

2.1.9.2 製品加工における皮膚汚染による皮膚被ばく線量

製品加工における作業者の皮膚汚染による被ばくは、次式により求める。

$$D_{skin}(i) = C_{Mw}(i) \cdot T_i(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_o \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \quad (32)$$

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)
$C_{Mw}(i)$:	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)
$T_i(i)$:	核種 i が溶融過程でインゴット中に移行する割合 (—)
G_M	:	再利用金属の市場係数 (—)
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) (—)
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)
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)

2.1.10 製品加工に伴う内部被ばく (経路No.18, No.18d)

この経路では、粉塵吸入による内部被ばく線量と汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量を評価する。

2.1.10.1 製品加工に伴う粉塵の吸入による内部被ばく線量

製品加工に伴う粉塵の吸入による内部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{inh,O}(i) = C_{Mw}(i) \cdot T_i(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot f_o \cdot f_{dust,inh} \cdot B_o \cdot t_o \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \quad (33)$$

ここで、

- $D_{inh,O}(i)$: 核種 i による吸入内部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $T_i(i)$: 核種 i が溶融過程でインゴット中に移行する割合 (—)
- G_M : 再利用金属の市場係数 (—)
- 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_o : 作業時の空气中粉塵濃度 (g/m^3)
- $f_{dust,inh}$: 吸入する粉塵に対する核種 i の濃縮係数 (—)
- B_o : 作業者の呼吸量 (m^3/h)
- t_o : 作業に伴う年間被ばく時間 (h/y)
- $DF_{inh}(i)$: 核種 i の吸入摂取に対する線量係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1 年)

2.1.10.2 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

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は、次式により求める。

$$D_{direct}(i) = C_{Mw}(i) \cdot T_i(i) \cdot G_M \cdot F_{MC} \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \quad (34)$$

ここで、

- $D_{direct}(i)$: 作業における核種 i による直接経口摂取被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Mw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象金属中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- $T_i(i)$: 核種 i が溶融過程でインゴット中に移行する割合 (—)
- G_M : 再利用金属の市場係数 (—)
- 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) (—)
- $f_{C,ing}$: 直接経口摂取経路における濃縮係数 (—)
- q : 汚染物質の摂取率 (g/h)
- t_o : 年間作業時間 (h/y)
- $DF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取に対する線量換算係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰時間 (y)

2.2 金属再利用

2.2.1 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は、次式により求める。

$$D_{ext,p}(i) = C_{Mp}(i) \cdot t_u \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (35)$$

ここで、

- $D_{ext,p}(i)$: 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)
- $C_{Mp}(i)$: 金属再利用製品 p 中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- t_u : 年間使用時間 (h/y)
- $DF_{ext}(i)$: 核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1年)

なお、外部被ばくに対する線量換算係数は、再利用された金属製品（線源）をそれぞれに応じた形状にモデル化し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により計算する。

2.2.2 スラッ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ッ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。

2.2.2.1 金属の溶融過程で生じたスラッグを粗骨材としたアスファルト中の核種 i の濃度

金属の溶融過程で生じたスラッグを粗骨材としたアスファルト中の核種 i の濃度は、次式により求める。

$$C_A(i) = C_{Ms}(i) \cdot F_{As} \dots\dots\dots (36)$$

ここで、

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

2.2.2.2 金属の溶融過程で生じたスラッグを粗骨材としたアスファルトを用いた駐車場での外部被ばく

金属の溶融過程で生じたスラッグを粗骨材としたアスファルトを用いた駐車場での、労働者の外部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{ext,o}(i) = C_A(i) \cdot t_u \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (37)$$

ここで、

- $D_{ext,0}(i)$: 作業時における核種 i による外部被ばく線量 ($\mu\text{ Sv/y}$)
 $C_A(i)$: アスファルト中の核種 i の濃度 (Bq/g)
 t_u : 年間作業時間 (h/y)
 $DF_{ext}(i)$: 核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 ($\mu\text{ Sv/h per Bq/g}$)
 λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
 t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1 年)

なお、外部被ばくに対する線量換算係数は、再利用された金属製品（線源）をそれぞれに応じた形状にモデル化し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により計算する。

2.3 コンクリート再利用処理（経路No. 26～28）

2.3.1 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）

この経路では、外部被ばく線量と、皮膚汚染による皮膚被ばく線量を評価する。

2.3.1.1 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

コンクリートを再利用する際の作業に伴う外部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{ext,O}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_B \cdot F_{CC} \cdot S_O \cdot t_O \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots \dots \dots (38)$$

ここで、

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

なお、外部被ばくに対する線量換算係数は、再利用されるコンクリート（線源）の形状を作業形態に応じてモデル化し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により計算する。

2.3.1.2 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

コンクリートを再利用する際の作業における作業者の皮膚汚染による被ばくは、次式により求める。

$$D_{skin}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_B \cdot F_{CC} \cdot L_{dust} \cdot f_{dust,skin} \cdot \rho \cdot t_O \cdot DF_{skin}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots \dots \dots (39)$$

ここで、

- $D_{skin}(i)$: 核種 i による皮膚汚染による皮膚被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Cw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象コンクリート中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- G_B : 再利用コンクリート塊の市場係数 (—)
- F_{CC} : 再利用されるコンクリート中のクリアランス対象物割合 (—)
- L_{dust} : 皮膚に堆積した粉塵の厚さ (cm)
- $f_{dust,skin}$: 皮膚被ばく経路における濃縮係数 (—)
- ρ : 皮膚に堆積した粉塵の密度 (g/cm^3)
- t_O : 年間作業時間 (h/y)

- $DF_{skin}(i)$: 核種 i の皮膚汚染による皮膚被ばく線量換算係数
(β 線、 γ 線に対する換算係数の和) (μ Sv/h per Bq/cm²)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1 年)

2.3.2 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)

この経路では、粉塵吸入による内部被ばく線量と汚染物質の直接経口摂取による内部被ばく線量を評価する。

2.3.2.1 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

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は、次式により求める。

$$D_{inh,o}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_B \cdot F_{CC} \cdot f_o \cdot f_{dust,inh} \cdot B_o \cdot t_o \cdot DF_{inh}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots \dots \dots (40)$$

ここで、

- $D_{inh,o}(i)$: 吸入摂取に伴う核種 i による内部被ばく線量 (μ Sv/y)
- $C_{Cw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象コンクリート中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- G_B : 再利用コンクリート塊の市場係数 (—)
- F_{CC} : 再利用されるコンクリート中のクリアランス対象物割合 (スクラップ輸送作業以外) (—)
- f_o : 作業時の空气中粉塵濃度 (g/m³)
- $f_{dust,inh}$: 吸入する粉塵に対する核種 i の濃縮係数 (—)
- B_o : 作業者の呼吸量 (m³/h)
- t_o : 作業に伴う年間被ばく時間 (h/y)
- $DF_{inh}(i)$: 核種 i の吸入摂取に対する線量係数 (μ Sv/Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_i : 被ばく中の減衰期間 (y) (1 年)

2.3.2.2 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

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は、次式により求める。

$$D_{direct}(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_B \cdot F_{CC} \cdot f_{C,ing} \cdot q \cdot t_o \cdot DF_{ing}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots \dots \dots (41)$$

ここで、

- $D_{direct}(i)$: 年間直接経口摂取被ばく線量 (μ Sv/y)

$C_{cw}(i)$:	再利用されるクリアランス対象コンクリート中の核種 i の濃度 (Bq/g)
G_B	:	再利用コンクリート塊の市場係数 (—)
F_{CC}	:	再利用されるコンクリート中のクリアランス対象物割合 (スクラップ輸送作業以外) (—)
$f_{C,ing}$:	直接経口摂取経路における濃縮係数 (—)
q	:	汚染物質の摂取率 (g/h)
t_o	:	年間作業時間 (h/y)
$DF_{ing}(i)$:	経口摂取に対する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	:	被ばく中の減衰時間 (y)

2.4 コンクリート再利用（経路No. 28）

2.4.1 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、次のように評価する。

2.4.1.1 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

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 の濃度は、次式により求める。

$$C_A(i) = C_{Cw}(i) \cdot G_S \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{pd}) \cdot F_{CC} \cdot F_{AC} \dots\dots\dots (42)$$

ここで、

- $C_A(i)$: 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 (Bq/g)
- $C_{Cw}(i)$: 再利用されるクリアランス対象コンクリート中の核種 i の濃度 (Bq/g)
- G_S : 再利用コンクリート粗骨材の市場係数 (—)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (y^{-1})
- t_{pd} : クリアランスされた後から再利用されるまでの時間 (y)
- F_{CC} : 再利用されるコンクリート中のクリアランス対象物割合 (—)
- F_{AC} : アスファルトへのコンクリートの混合割合 (—)

2.4.1.2 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

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、労働者の外部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{ext,O}(i) = C_A(i) \cdot t_u \cdot DF_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (43)$$

ここで、

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

なお、外部被ばくに対する線量換算係数は、再利用されたコンクリート製品（線源）をそれぞれに応じた形状にモデル化し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により計算する。

2.5 金属再使用

2.5.1 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は、次式により求める。

$$D_{ext,u}(i) = C_{Mr}(i) \cdot t_u \cdot DF'_{ext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (44)$$

ここで、

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

なお、上記の外部被ばくに係る換算係数については、再使用品を適切な形状にモデル化し、点減衰核積分法による遮へい計算コード QAD-CGGP2R により計算する。