

IAEA の RS-G-1.7 にクリアランスレベルが示されていない核種の
クリアランスレベルの設定の流れについて（案）

平成 22 年 8 月 31 日
放射線規制室

1. はじめに

放射線安全規制検討会及びクリアランス技術検討ワーキンググループ（以下、「クリアランス WG」という。）では、「放射線障害防止法へのクリアランス制度の導入に向けた技術的検討結果について（第 2 次中間報告書）」（以下、「第 2 次中間報告書」という。）を平成 22 年 1 月に取りまとめた。その後、確率論的解析を行い、RI 汚染物¹⁾や放射化物²⁾に含まれる核種のクリアランスレベルの暫定値の算出のために選定した評価パラメータが保守的な選定となっていること、評価経路及び評価パラメータを組み合わせて設定したシナリオが適切かつ保守的に選定されていることを確認した。今後は、クリアランス WG において、上述の内容も含めた「放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの導出に係る技術的検討結果について（案）」（以下、「報告書（案）」）のとりまとめに係る検討を進めるとともに、同報告書（案）に放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルをとりまとめることとなる。

既に、第 2 次中間報告書では、算出したクリアランスレベルの暫定値と IAEA SRS No. 44 の放射能濃度値（IAEA が RS-G-1.7 をとりまとめた際にクリアランス等の判断に用いる放射能濃度の基準値の算出根拠とした放射能濃度の計算値）との比較検討を行い、クリアランスレベルを規定する対象核種として今回選定した核種のうち、IAEA の RS-G-1.7 にクリアランスレベルが示されている核種については、RS-G-1.7 のクリアランスレベルを放射線障害防止法に係る RI 汚染物や放射化物のクリアランスレベルとして用いることが適切であるとの方向性を示した。一方、RS-G-1.7 にクリアランスレベルが示されていない核種については、今回のクリアランスレベルの算出結果を基に IAEA 等の考え方を参考にしつつ値を定めることが適切であると示した。

以上のような状況を踏まえ、今回（第 20 回）のクリアランス WG では、RS-G-1.7 にクリアランスレベルが示されていない核種について、どのような手順で放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルを設定するかについて検討を行う。

2. RS-G-1.7 のクリアランスレベル及び SRS No. 44 の放射能濃度値について

今回、クリアランスレベルを算定する対象核種として選定した核種について、SRS No. 44 に示されている放射能濃度値及びその値を踏まえた RS-G-1.7 のクリアランスレベルを表 1 に示す。選定した計 72 核種のうち、64 核種（そのうちの 61 核種については RS-G-1.7 のクリアランスレベルが示されている。）については SRS No. 44 の放射能濃度値が示されている。しかしながら、残りの 8 核種、Ti-44、V-49、Ga-67、Ge-68、Rb-81、Yb-169、W-188 及び Au-195 については、SRS No. 44 に放射能濃度は示されていない。

1)：放射性同位元素の使用等に伴って発生する放射性同位元素によって汚染された物

2)：放射線発生装置の使用に伴って発生する RI 汚染物

表 1 選定した対象核種に対する SRS No. 44 の放射能濃度値及び RS-G-1.7 のクリアランスレベルについて

| 放射性核種 | SRS No.44 (Bq/g) | IAEA RS-G-1.7 (Bq/g) |
|--------|---------------------|----------------------------|
| H-3 | 30 (30.3) | 100 |
| Be-7 | 19 | 10 |
| C-14 | 1.7 | 1 |
| F-18 | 350 | 10 |
| Na-22 | 0.039 | 0.1 |
| P-32 | 340 | 1000 |
| P-33 | 580 | 1000 |
| S-35 | 250 | 100 |
| Cl-36 | 0.47 | 1 |
| Ca-41 | 81 | — |
| Ca-45 | 78 | 100 |
| Sc-46 | 0.25 | 0.1 |
| Ti-44 | — | — |
| V-49 | — | — |
| Cr-51 | 91 | 100 |
| Mn-54 | 0.15 | 0.1 |
| Fe-55 | 1000 | 1000 |
| Fe-59 | 0.95 | 1 |
| Co-56 | 0.14 | 0.1 |
| Co-57 | 1.8 | 1 |
| Co-58 | 0.66 | 1 |
| Co-60 | 0.031 | 0.1 |
| Ni-59 | 140 | 100 |
| Ni-63 | 59 | 100 |
| Zn-65 | 0.26 | 0.1 |
| Ga-67 | — | — |
| Ge-68 | — | — |
| Se-75 | 0.91 | 1 |
| Rb-81 | — | — |
| Rb-86 | 33 | 100 |
| Sr-85 | 1.4 | 1 |
| Sr-89 | 350 | 1000 |
| Sr-90 | 0.55 | 1 |
| Y-90 | 340 | 1000 |
| Nb-93m | 4.7 | 10 |
| Nb-94 | 0.044 | 0.1 |

| 放射性核種 | SRS No.44 (Bq/g) | IAEA RS-G-1.7 (Bq/g) |
|---------|---------------------|----------------------------|
| Mo-99 | 20 | 10 |
| Tc-99 | 0.61 | 1 |
| Tc-99m | 620 | 100 |
| Ag-108m | 0.044 | — |
| Ag-110m | 0.053 | 0.1 |
| Cd-109 | 1.1 | 1 |
| In-111 | 14 | 10 |
| Sn-113 | 1.3 | 1 |
| Sb-124 | 0.38 | 1 |
| Sb-125 | 0.20 | 0.1 |
| Te-123m | 3.0 (2.95) | 1 |
| I-123 | 110 | 100 |
| I-125 | 170 | 100 |
| I-131 | 10 | 10 |
| Cs-134 | 0.057 | 0.1 |
| Cs-137 | 0.12 | 0.1 |
| Ba-133 | 0.23 | — |
| Ce-139 | 2.4 | 1 |
| Ce-141 | 40 | 100 |
| Pm-147 | 740 | 1000 |
| Eu-152 | 0.066 | 0.1 |
| Eu-154 | 0.060 | 0.1 |
| Gd-153 | 3.9 | 10 |
| Tb-160 | 0.56 | 1 |
| Yb-169 | — | — |
| Ta-182 | 0.26 | 0.1 |
| W-188 | — | — |
| Re-186 | 340 | 1000 |
| Ir-192 | 0.84 | 1 |
| Au-195 | — | — |
| Au-198 | 11 | 10 |
| Hg-203 | 5.7 | 10 |
| Tl-201 | 110 | 100 |
| Tl-204 | 0.58 | 1 |
| Am-241 | 0.30 (0.298) | 0.1 |
| Cm-244 | 0.49 | 1 |

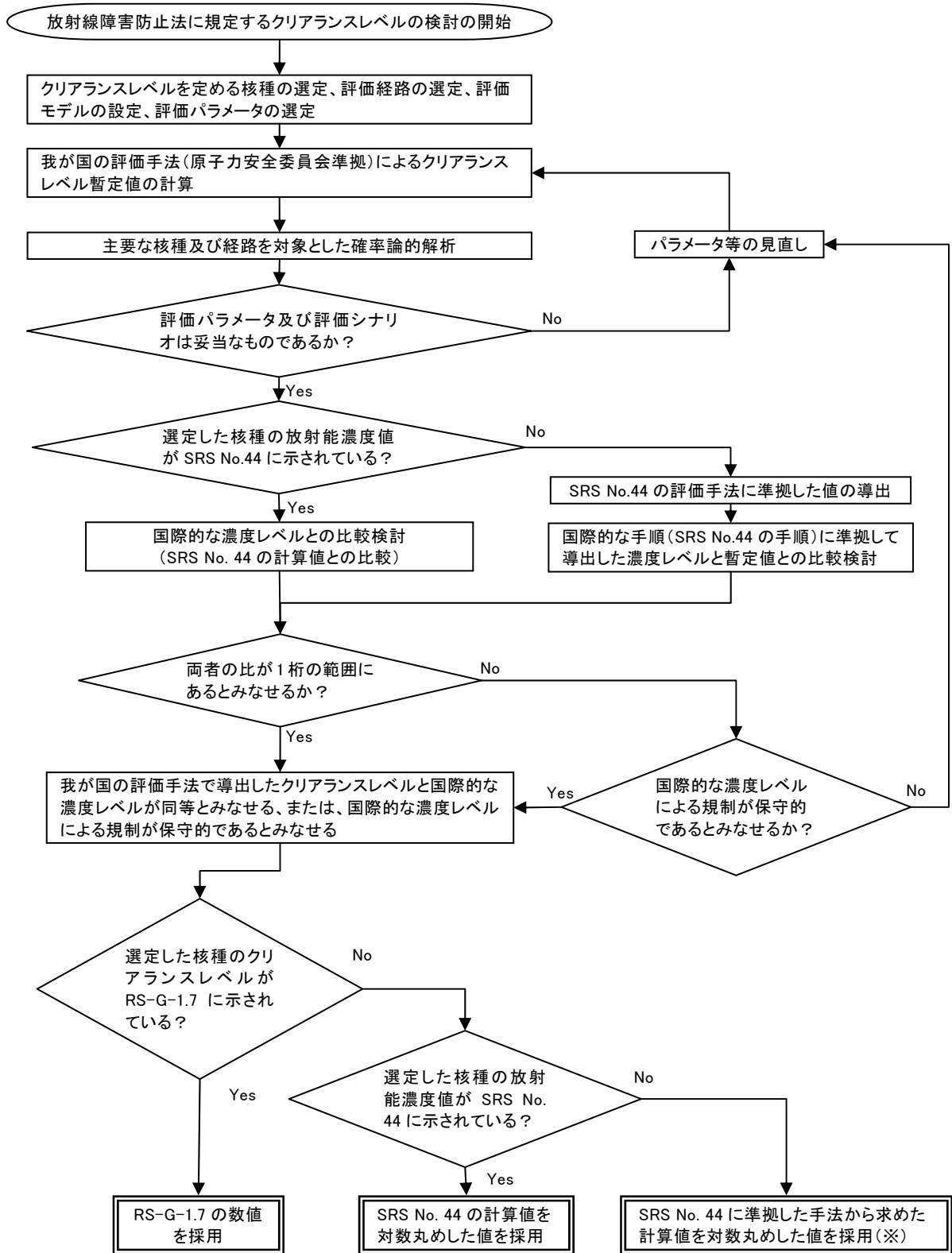
注) SRS No. 44 では有効数字 3 桁の値が記載されているが、「再評価報告書」にならって 3 桁目を四捨五入して表示した。ただし、四捨五入した値が 3×10^x (x は自然数) となる数値については有効数字 3 桁の値を括弧内に示した。

3. 放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る流れ

第2次中間報告書に示した「放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの設定に係る基本方針」の内容を踏まえ、具体的なクリアランスレベルの設定の流れを図3.1に示す。

上記基本方針に基づいて算出された放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの暫定値については、SRS No. 44 の放射能濃度値との比較を行い、同等とみなすことができた場合、クリアランスされた物の国際的な流れにおける影響や原子炉等規制法に基づきクリアランスされた物との取扱実務の整合性の観点から、放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルとしてRS-G-1.7に示されたクリアランスレベルを用いることとする。また、SRS No. 44には放射能濃度は示されているものの、RS-G-1.7にはクリアランスレベルが示されていない核種については、SRS No. 44 の放射能濃度値を対数丸めした値を、放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルとして用いることとする。

しかしながら、Ti-44、V-49、Ga-67、Ge-68、Rb-81、Yb-169、W-188 及び Au-195 の8核種については、SRS No. 44 の放射能濃度値及びRS-G-1.7のクリアランスレベルが示されていないことから、SRS No. 44 の考え方・方法に基づいて放射能濃度値を算出し、SRS No. 44 の放射能濃度値に相当する値として、第2次中間報告書で算出したクリアランスレベルの暫定値との比較検討を行うこととする。この比較検討の結果、両方の値が同等とみなすことができた場合には、SRS No. 44 の考え方・方法に基づいて算出した放射能濃度値を対数丸めした値を放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルとして用いることとする。



※ RI 汚染物を対象とした場合、クリアランス対象物量が少ないために、原子力安全委員会に準拠した評価手法による数値は、IAEA のものよりもクリアランスレベルが高くなる傾向にある。そのため、原子力安全委員会が導出した数値を採用した原子炉等規制法と異なり、本検討では IAEA の評価手法に準拠した手法による数値を採用する。

「対数丸め」: $3 \times 10^x \sim 3 \times 10^{x+1}$ の範囲にある場合、 $1 \times 10^{x+1}$ とする方法。さらに、その値が BSS 免除レベルを上回る場合は BSS 免除レベルと同じ値とする。

図 1 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の流れ

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

4. 1 SRS No. 44 で用いられている被ばくシナリオ

SRS No. 44 においては、表 2 に示す被ばくのシナリオに基づいて、食料品と飲用水を除く、人工起源の核種を含む全ての物質について放射能濃度値を求める計算が行われている。

皮膚被ばくに係るシナリオ（以下、「SKIN シナリオ」という。）を除くシナリオについては、「現実的なパラメータを用いた評価（Realistic）」（以下、「現実的シナリオ」という。）と、「低確率なパラメータを用いた評価（Low Probability）」（以下、「低確率シナリオ」という。）の 2 通りの計算が行われ、それぞれ、 $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 及び $1\text{mSv}/\text{年}$ の実効線量基準（Effective dose criterion）に対する放射能濃度値が求められている。

SKIN シナリオについては、低確率なパラメータを用いた計算のみが行われ、 $50\text{mSv}/\text{年}$ の皮膚の等価線量限度（Skin equivalent dose limit）に対する放射能濃度値が求められている。これらのシナリオに基づいて求められた放射能濃度値のうち、最も小さい濃度値が、クリアランスレベルとして適用可能な放射能濃度値として示されている。

表 2 SRS No. 44 で用いられている評価シナリオ

| 記号 | シナリオ | 被ばく対象者 | 被ばく形態 |
|------|--|--------|----------------|
| WL | 処分場あるいはその他の施設（鋳物工場以外）の作業者の被ばく | 作業者 | 外部、吸入、直接経口 |
| WF | 鋳物工場の作業者の被ばく | 作業者 | 外部、吸入、直接経口 |
| WO | その他の作業者（例：トラックの運転手）の被ばく | 作業者 | 外部 |
| RL-C | 処分場あるいはその他の施設近傍の居住者の被ばく | 子ども | 吸入、農作物摂取 |
| RL-A | | 成人 | 吸入、農作物摂取 |
| RF | 鋳物工場近傍の居住者の被ばく | 子ども | 吸入 |
| RH | 汚染された物質で建設された建屋の居住者の被ばく | 成人 | 外部 |
| RP | 汚染された物質で建設された公共の場所の居住者の被ばく | 子ども | 外部、吸入、直接経口 |
| RW-C | 個人の井戸からの水の利用あるいは汚染された河川でとれた魚類の消費 | 子ども | 飲料水、農作物及び魚類の摂取 |
| RW-A | | 成人 | 飲料水、農作物及び魚類の摂取 |
| SKIN | スクラップ置き場、金属リサイクル施設、処分場などの作業場における作業者の被ばく（低確率シナリオのみ） | 作業者 | 皮膚被ばく |

4.2 被ばくモデル

SRS No. 44 に示された被ばくモデルは以下のとおりである。

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

外部被ばくによる実効線量は次式で計算される。

$$E_{ext,C} = e_{ext} \cdot t_e \cdot f_d \cdot e^{-\lambda \cdot t_1} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda \cdot t_2}}{\lambda \cdot t_2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

- $E_{ext,C}$: 物質中の単位放射能濃度あたりの外部被ばくによる実効線量 [(μSv/a)/(Bq/g)]
- e_{ext} : 物質中の単位放射能濃度あたりの実効線量率 [(μSv/h)/(Bq/g)]
- t_e : 被ばく時間 [h/a]
- f_d : 希釈係数 [-]
- λ : 崩壊定数 [1/a]
- t_1 : 被ばく開始までの減衰時間 [a]
- t_2 : 被ばく期間中の減衰時間 [a]

である。

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

吸入による被ばくの実効線量は次式で計算される。

$$E_{inh,C} = e_{inh} \cdot t_e \cdot f_d \cdot f_c \cdot C_{dust} \cdot V \cdot e^{-\lambda \cdot t_1} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda \cdot t_2}}{\lambda \cdot t_2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

- $E_{inh,C}$: 物質中の単位放射能濃度あたりの吸入による実効線量 [(μSv/a)/(Bq/g)]
- e_{inh} : 吸入による実効線量係数 [μSv/Bq]
- t_e : 被ばく時間 [h/a]
- f_d : 希釈係数 [-]
- f_c : 濃縮係数 [-]
- C_{dust} : 空気中粉塵濃度 [g/m³]
- V : 呼吸率 [m³/h]
- λ : 崩壊定数 [1/a]
- t_1 : 被ばく開始までの減衰時間 [a]
- t_2 : 被ばく期間中の減衰時間 [a]

である。

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

汚染物質の偶然による直接摂取、または汚染物質を含んだ土壤中で栽培された作物（核種は植物の根を通じて作物に入る。）の摂取による実効線量は次式で計算される。

$$E_{ing,C} = e_{ing} \cdot q \cdot f_d \cdot f_c \cdot f_t \cdot e^{-\lambda \cdot t_1} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda \cdot t_2}}{\lambda \cdot t_2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

- $E_{ing,C}$: 物質中の単位放射能濃度あたりの経口摂取による実効線量

| | |
|-----------|-------------------------------------|
| | $[(\mu\text{Sv/a})/(\text{Bq/g})]$ |
| e_{ing} | : 経口摂取による実効線量係数 $[\mu\text{Sv/Bq}]$ |
| q | : 年間の経口摂取量 $[\text{g/a}]$ |
| f_d | : 希釈係数 $[-]$ |
| f_c | : 濃縮係数 $[-]$ |
| f_l | : 根からの移行係数 $[-]$ |
| λ | : 崩壊定数 $[1/\text{a}]$ |
| t_1 | : 被ばく開始までの減衰時間 $[\text{a}]$ |
| t_2 | : 被ばく期間中の減衰時間 $[\text{a}]$ |

である。

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

RW-C, RW-A シナリオでは、汚染物質が地表付近の土壤中にあるとき(これを汚染層と呼ぶ)、核種が汚染層から放出され、不飽和層を通過して地下水に移行して、この汚染された地下水を利用することによる被ばくが想定されている。地下水を利用することによる被ばくとしては、以下に示す3つの被ばくが考慮されている。

- 汚染された地下水が井戸に移行したときの井戸水飲用による被ばく
 - 汚染された地下水を農作物の灌漑用水として利用したときの農作物摂取による被ばく
 - 汚染された地下水が河川に移行して、その河川の魚を摂取することによる被ばく
- これらの被ばくでは、以降に示すモデルを用いて被ばくの実効線量が計算されている。

(1) 汚染層からの漏出率

汚染層からの漏出率は次式で計算される。

$$L_i = \frac{I}{\theta^{cz} \cdot z^{cz} \cdot R_i^{cz}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

| | |
|---------------|------------------------------|
| L_i | : 核種 i の漏出率 $[1/\text{a}]$ |
| I | : 浸透率 $[\text{m/a}]$ |
| θ^{cz} | : 汚染層の体積含水率 $[-]$ |
| z^{cz} | : 汚染層の厚さ $[\text{m}]$ |
| R_i^{cz} | : 汚染層における核種 i の遅延係数 $[-]$ |

である。

このうち、遅延係数 R_i^{cz} は次式で与えられる。

$$R_i^{cz} = 1 + \frac{\rho^{cz} \cdot K_{d,i}}{\theta^{cz}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

| | |
|---------------|---|
| R_i^{cz} | : 汚染層における核種 i の遅延係数 $[-]$ |
| ρ^{cz} | : 汚染層の密度 $[\text{g/cm}^3]$ |
| $K_{d,i}$ | : 核種 i の分配係数 $[\text{cm}^3/\text{g}]$ |
| θ^{cz} | : 汚染層の体積含水率 $[-]$ |

である。

(2) 汚染層から浸出する水中の核種濃度

汚染層から浸出する水中の核種濃度は次式で計算される。

$$C_i^s = \frac{Mc_i \cdot L_i}{U^s} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、

- C_i^s : 汚染層から浸出する水中の核種 i の濃度 [Bq/m³]
- M : 汚染物質の総量 [g]
- c_i : 汚染物質中の核種 i の濃度 [Bq/g]
- L_i : 核種 i の漏出率 [1/a]
- U^s : 汚染層を通過した浸出水の体積 [m³/a]

である。

このうち、浸出水の体積は次式で計算される。

$$U^s = I \cdot A^{cz} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、

- U^s : 汚染層を通過した浸出水の体積 [m³/a]
- I : 浸透率 [m/a]
- A^{cz} : 汚染層の表面積 [m²]

である。

(3) 不飽和層の移行時間

不飽和層を通過する核種の移行時間は次式で与えられる。

$$t_i = \frac{z^{uz} \cdot R_i^{uz} \cdot \rho^{uz} \cdot R_s^{uz}}{I} \dots\dots\dots (8)$$

ここで、

- t_i : 核種 i の不飽和層の移行時間 [a]
- z^{uz} : 不飽和層の厚さ [m]
- R_i^{uz} : 不飽和層における核種 i の遅延係数 [-]
- ρ^{uz} : 不飽和層の有効空隙率 [-]
- R_s^{uz} : 不飽和層における飽和率 [-]
- I : 浸透率 [m/a]

である。

このうち、遅延係数 R_i^{uz} は次式で与えられる。

$$R_i^{uz} = 1 + \frac{\rho^{uz} \cdot K_{d,i}}{\theta^{uz}} \dots\dots\dots (9)$$

ここで、

- R_i^{uz} : 不飽和層における核種 i の遅延係数 [-]
- ρ^{uz} : 不飽和層の密度 [g/cm³]
- $K_{d,i}$: 核種 i の分配係数 [cm³/g]

θ^{uz} : 不飽和層の体積含水率 [-]

である。

(4) 井戸水中の核種濃度

地下水の量は次式で与えられる。

$$U^{gw} = z^{gw} \cdot w^{gw} \cdot v^{gw} \cdot p^{gw} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここで、

- U^{gw} : 地下水の量 [m³/a]
- z^{gw} : 帯水層の厚さ [m]
- w^{gw} : 帯水層の流れに直行する方向の汚染層の幅 [m]
- v^{gw} : 帯水層における間隙水流速 [m/a]
- p^{gw} : 帯水層の有効空隙率 [-]

である。

この結果、井戸水中の核種濃度は次式で計算される。

$$c_i^w = \frac{U^s}{U^{gw} + U^s} C_i^s \cdot e^{-\lambda_i \cdot t_i} \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここで、

- c_i^w : 井戸水中の核種 i の濃度 [Bq/m³]
- U^s : 汚染層を通過した浸出水の体積 [m³/a]
- U^{gw} : 地下水の量 [m³/a]
- C_i^s : 汚染層から浸出する水中の核種 i の濃度 [Bq/m³]
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 [1/a]
- t_i : 核種 i の不飽和層の移行時間 [a]

である。

(5) 水から農作物への核種の移行係数

農作物への核種の移行は、葉面沈着による葉からの核種の農作物への取り込みと根からの核種の吸収が考慮される。水から農作物への核種の移行係数は、次式により計算される。

$$f_{i,k,i} = \frac{I_{rr} \cdot f_r \cdot T_{f,k} \cdot (1 - e^{-\lambda_{w,k} \cdot t_{e,k}})}{Y_{w,k} \cdot \lambda_w} + \frac{I_{rr} \cdot (1 - f_r) \cdot f_{tr,i} \cdot (1 - e^{-L_i \cdot t_c})}{\rho^e \cdot L_i} \quad \dots\dots\dots (12)$$

ここで、

- $f_{i,k,i}$: 水からの農作物 k への核種 i の移行係数 [m³/kg]
- I_{rr} : 灌漑水量 [m/a]
- f_r : 農作物に沈着した核種が保持される割合 [-]
- $T_{f,k}$: 農作物 k の葉から可食部への移行係数 [-]
- λ_w : 風雨による除去係数 [1/a]
- $t_{e,k}$: 農作物 k の暴露時間 [a]
- $Y_{w,k}$: 農作物 k の栽培密度 [kg/m²]
- $f_{tr,i}$: 核種 i の根からの移行係数 [-]
- L_i : 核種 i の漏出率 [1/a]
- ρ^e : 土壌の実効表面密度 [kg/m²]

である。

(6) 河川水中の核種濃度

河川水中の核種濃度は次式で計算される。

$$c_i^r = \frac{U^s}{U^r + U^s} C_i^s \cdot e^{-\lambda_i \cdot t_i} \dots\dots\dots (13)$$

ここで、

- c_i^r : 河川水中の核種 i の濃度 [Bq/m³]
- U^s : 汚染層を通過した浸出水の体積 [m³/a]
- U^r : 河川水の量 [m³/a]
- C_i^s : 汚染層から浸出する水中の核種 i の濃度 [Bq/m³]
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 [1/a]
- t_i : 核種 i の不飽和層の移行時間 [a]

である。

(7) 被ばく線量 (この式は SRS No. 44 に記載なし)

地下水移行経路の被ばく線量は次式で計算される。

$$E_{ing,C} = e_{ing} \left(c_i^w \cdot q_w \cdot f_w + c_i^w \cdot f_c \cdot \sum_k f_{t,k,i} \cdot q_{c,k} + c_i^r \cdot f_{t,f,i} \cdot f_f \cdot q_f \right) e^{-\lambda_i \cdot t_1} \quad (14)$$

ここで、

- $E_{ing,C}$: 経口摂取による実効線量 [μSv/a]
- e_{ing} : 経口摂取による実効線量係数 [μSv/Bq]
- c_i^w : 井戸水中の核種 i の濃度 [Bq/m³]
- q_w : 飲料水の年間摂取量 [m³/a]
- f_w : 汚染した飲料水の割合 [-]
- f_c : 汚染した農作物の割合 [-]
- $f_{t,k,i}$: 水から農作物 k への核種 i の移行係数 [m³/kg]
- $q_{c,k}$: 農作物 k の年間摂取量 [kg/a]
- c_i^r : 河川水中の核種 i の濃度 [Bq/m³]
- $f_{t,f,i}$: 核種 i の魚類への移行係数 [m³/kg]
- f_f : 汚染した魚類の割合 [-]
- q_f : 魚類の年間摂取量 [kg/a]
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 [1/a]
- t_1 : 被ばく開始までの減衰時間 [a]

である。

4. 2. 5 皮膚被ばくに係るモデル (SKIN シナリオ)

皮膚汚染による皮膚の等価線量は次式で計算される。

$$E_{skin,C} = e_{skin} \cdot t_e \cdot L_{dust} \cdot f_d \cdot f_c \cdot \rho \cdot e^{-\lambda_i \cdot t_1} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_i \cdot t_2}}{\lambda_i \cdot t_2} \dots\dots\dots (15)$$

ここで、

- $E_{skin,C}$: 単位物質中核種濃度あたりの皮膚汚染による皮膚の等価線量

| | |
|------------|--|
| | $[(\mu\text{Sv/a})/(\text{Bq/g})]$ |
| e_{skin} | : 単位表面濃度あたりの皮膚の等価線量率 $[(\mu\text{Sv/h})/(\text{Bq/cm}^2)]$ |
| t_e | : 被ばく時間 [h/a] |
| L_{dust} | : 皮膚に堆積した粉塵の厚さ [cm] |
| f_d | : 希釈係数 [-] |
| f_c | : 濃縮係数 [-] |
| ρ | : 皮膚に堆積した粉塵の密度 $[\text{g/cm}^3]$ |
| λ | : 崩壊定数 $[1/a]$ |
| t_1 | : 被ばく開始までの減衰時間 [a] |
| t_2 | : 被ばく期間中の減衰時間 [a] |

である。

4.3 SRS No. 44 で用いられた評価パラメータ

SRS No. 44 に示された評価パラメータのうち、核種、元素に依存しないパラメータを次に示すとおり表にとりまとめる。

- 外部被ばくのパラメータのうち現実的シナリオ及び低確率シナリオのパラメータを、それぞれ表 3 及び表 4 に示す。
- 吸入被ばくのパラメータのうち現実的シナリオ及び低確率シナリオのパラメータを、それぞれ表 5 及び表 6 に示す。
- 経口摂取被ばくのパラメータのうち現実的シナリオ及び低確率シナリオのパラメータを、それぞれ表 7 及び表 8 に示す。
- 地下水移行シナリオのパラメータを表 9 に示す。
- 皮膚被ばくのパラメータを表 10 に示す。

表 3 外部被ばくに係るパラメータの設定（現実的シナリオ）

| パラメータ | 単位 | 値 | | | | |
|---------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| | | WL | RH | WF | WO | RP |
| 被ばく時間 | h/a | 450 | 4500 | 450 | 900 | 400 |
| 希釈係数 | [-] | 1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 子どもの線量率の成人の線量率に対する比 | [-] | - | - | - | - | 1.2 |
| 被ばく開始までの減衰時間 | d | 30 | 100 | 30 | 30 | 100 |
| 被ばく期間中の減衰時間 | d | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 |

表 4 外部被ばくに係るパラメータの設定（低確率シナリオ）

| パラメータ | 単位 | 値 | | | | |
|---------------------|-----|------|------|------|------|------|
| | | WL | RH | WF | WO | RP |
| 被ばく時間 | h/a | 1800 | 8760 | 1800 | 1800 | 1000 |
| 希釈係数 | [-] | 1 | 0.5 | 1 | 1 | 0.5 |
| 子どもの線量率の成人の線量率に対する比 | [-] | - | - | - | - | 1.2 |
| 被ばく開始までの減衰時間 | d | 1 | 100 | 1 | 1 | 100 |
| 被ばく期間中の減衰時間 | d | 0 | 365 | 0 | 0 | 365 |

表 5 吸入被ばくに係るパラメータの設定（現実的シナリオ）

| パラメータ | 単位 | 値 | | | | | |
|--------------|-------------------|------|------------------|------|------------------|------|------|
| | | WL | WF | RL-C | RF | RL-A | RP |
| 被ばく時間 | h/a | 450 | 450 | 1000 | 1000 | 1000 | 400 |
| 希釈係数 | [-] | 1 | 0.02 | 0.01 | 0.002 | 0.01 | 0.2 |
| 濃縮係数 | [-] | 4 | 1 - 70 (元素依存) | 4 | 1 - 70 (元素依存) | 4 | 4 |
| 空气中粉塵濃度 | g/m ³ | 5E-4 | 5E-4 | 1E-4 | 1E-4 | 1E-4 | 1E-4 |
| 呼吸率 | m ³ /h | 1.2 | 1.2 | 0.22 | 0.22 | 1.2 | 0.22 |
| 被ばく開始までの減衰時間 | d | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 100 |
| 被ばく期間中の減衰時間 | d | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 |

表 6 吸入被ばくに係るパラメータの設定（低確率シナリオ）

| パラメータ | 単位 | 値 | | | | | |
|--------------|-------------------|------|------------------|------|------------------|------|------|
| | | WL | WF | RL-C | RF | RL-A | RP |
| 被ばく時間 | h/a | 1800 | 1800 | 8760 | 8760 | 8760 | 1000 |
| 希釈係数 | [-] | 1 | 0.1 | 0.1 | 0.01 | 0.1 | 1 |
| 濃縮係数 | [-] | 4 | 1 - 70 (元素依存) | 4 | 1 - 70 (元素依存) | 4 | 4 |
| 空气中粉塵濃度 | g/m ³ | 1E-3 | 1E-3 | 5E-4 | 5E-4 | 5E-4 | 5E-4 |
| 呼吸率 | m ³ /h | 1.2 | 1.2 | 0.22 | 0.22 | 1.2 | 0.22 |
| 被ばく開始までの減衰時間 | d | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 100 |
| 被ばく期間中の減衰時間 | d | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 365 |

表 7 経口摂取被ばくに係るパラメータの設定（現実的シナリオ）

| パラメータ | 単位 | 値 | | | |
|--------------|-----|--------|--------|-------|-------|
| | | RL-A | RL-C | WL/WF | RP |
| 摂取量 | g/a | 88,000 | 68,000 | 10 | 25 |
| 希釈係数 | [-] | 0.01 | 0.01 | 1 | 0.1 |
| 濃縮係数 | [-] | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 根からの移行係数 | [-] | 元素依存 | 元素依存 | 考慮しない | 考慮しない |
| 被ばく開始までの減衰時間 | d | 365 | 365 | 30 | 100 |
| 被ばく期間中の減衰時間 | d | 365 | 365 | 365 | 365 |

表 8 経口摂取被ばくに係るパラメータの設定（低確率シナリオ）

| パラメータ | 単位 | 値 | | | |
|--------------|-----|---------|---------|-------|-------|
| | | RL-A | RL-C | WL/WF | RP |
| 摂取量 | g/a | 264,000 | 204,000 | 50 | 50 |
| 希釈係数 | [-] | 0.1 | 0.1 | 1 | 1 |
| 濃縮係数 | [-] | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 根からの移行係数 | [-] | 元素依存 | 元素依存 | 考慮しない | 考慮しない |
| 被ばく開始までの減衰時間 | d | 365 | 365 | 1 | 100 |
| 被ばく期間中の減衰時間 | d | 365 | 365 | 0 | 365 |

表 9 地下水移行シナリオに係るパラメータの設定

| パラメータ | 単位 | 値 | |
|---------------------|-------------------|---------|---------|
| | | 現実的シナリオ | 低確率シナリオ |
| 浸透率 | m/a | 0.2 | 0.2 |
| 汚染層の体積含水率 | [-] | 0.4 | 0.4 |
| 汚染層の厚さ | m | 5 | 5 |
| 汚染層の密度 | g/cm ³ | 1.8 | 1.8 |
| 汚染物質の総量 | g | 4.5E+10 | 1.8E+11 |
| 汚染物質中の核種の濃度 | Bq/g | 1 | 1 |
| 汚染層の表面積 | m ² | 5000 | 20000 |
| 不飽和層の厚さ | m | 2 | 0 |
| 不飽和層の有効空隙率 | [-] | 0.2 | 0.2 |
| 不飽和層における飽和率 | [-] | 0.4 | 0.4 |
| 不飽和層の密度 | g/cm ³ | 1.8 | 1.8 |
| 不飽和層の体積含水率 | [-] | 0.16 | 0.16 |
| 帯水層の厚さ | m | 5 | 5 |
| 帯水層の流れに直行する方向の汚染層の幅 | m | 50 | 200 |
| 帯水層における間隙水流速 | m/a | 1000 | 500 |
| 帯水層の有効空隙率 | [-] | 0.25 | 0.25 |
| 灌漑水量 | m/a | 0.2 | 0.2 |
| 農作物に沈着した核種が保持される割合 | [-] | 0.25 | 0.25 |
| 葉から可食部への移行係数（非葉菜） | [-] | 0.1 | 0.1 |
| 葉から可食部への移行係数（葉菜） | [-] | 1 | 1 |
| 風雨による除去係数 | 1/a | 20 | 20 |
| 農作物の暴露期間（非葉菜） | a | 0.17 | 0.17 |
| 農作物の暴露期間（葉菜） | a | 0.25 | 0.25 |
| 農作物の栽培密度（非葉菜） | kg/m ² | 0.7 | 0.7 |
| 農作物の栽培密度（葉菜） | kg/m ² | 1.5 | 1.5 |
| 土壌の実効表面密度 | kg/m ² | 225 | 225 |
| 河川水の量 | m ³ /s | 5 | 5 |

(次ページへ続く)

表 9 地下水移行シナリオに係るパラメータの設定（つづき）

| パラメータ | 単位 | 値 | |
|--------------------|-------------------|---------|---------|
| | | 現実的シナリオ | 低確率シナリオ |
| 飲料水の年間摂取量（子ども） | m ³ /a | 100 | 200 |
| 飲料水の年間摂取量（成人） | m ³ /a | 350 | 700 |
| 汚染した飲料水の割合 | [-] | 0.25 | 1 |
| 汚染した農作物の割合 | [-] | 0.25 | 1 |
| 農作物の年間摂取量（非葉菜，子ども） | kg/a | 17 | 51 |
| 農作物の年間摂取量（非葉菜，成人） | kg/a | 40 | 120 |
| 農作物の年間摂取量（葉菜，子ども） | kg/a | 6 | 18 |
| 農作物の年間摂取量（葉菜，成人） | kg/a | 13 | 39 |
| 汚染した魚類の割合 | [-] | 0.25 | 1 |
| 魚類の年間摂取量（子ども） | kg/a | 0.6 | 3 |
| 魚類の年間摂取量（成人） | kg/a | 1.5 | 7.5 |
| 被ばく開始までの減衰時間 | d | 1 | 1 |

表 10 皮膚被ばくに係るパラメータの設定（低確率シナリオ）

| パラメータ | 単位 | 値 |
|--------------|-------------------|------|
| 被ばく時間 | h/a | 1800 |
| 皮膚に堆積した粉塵の厚さ | cm | 0.01 |
| 希釈係数 | [-] | 1 |
| 濃縮係数 | [-] | 2 |
| 皮膚に堆積した粉塵の密度 | g/cm ³ | 1.5 |
| 根からの移行係数 | [-] | 元素依存 |
| 被ばく開始までの減衰時間 | d | 0 |
| 被ばく期間中の減衰時間 | d | 0 |

4.4 元素及び核種に依存する評価パラメータ

SRS No. 44 に放射能濃度が示されていない核種の元素依存のパラメータを表 11 に、核種依存のパラメータを表 12 に示す。

これらのパラメータについては、SRS No. 44 に記載されているものについてはそれを採用し、記載がないものについては可能な限り SRS No. 44 の設定手順に準拠して以下の通り設定する。

(1) 根からの移行係数

根からの移行係数については、SRS No. 44 に値が示されている元素についてはそれを採用する。Ti については値が示されていなかったため、「第 2 次中間報告書」における「葉菜、非葉菜及び果実への移行係数」の設定値を使用する。

(2) 分配係数

Rb については、SRS No. 44 に示されている値を採用する。

Ge 及び Au については、SRS No. 44 で参照されている文献である RESRAD のマニュアル¹の最小値を採用する。

その他の元素については、SRS No. 44 に示された根からの移行係数から求める式 (Eq. (6)) により計算して設定する。

(3) 魚類への移行係数

Ga、Rb 及び Au については、SRS No. 44 で参照されている文献である SRS No. 19²の値を採用する。その他の元素については、「第 2 次中間報告書」における設定値を使用する。

(4) 濃縮係数 (吸入被ばく経路)

Ti 以外の元素については、SRS No. 44 に示されている値を採用する。Ti については、同族元素である Zr の値を設定する。

(5) 単位物質中核種濃度あたりの実効線量率 (外部被ばく実効線量換算係数)

SRS No. 44 に記載されている表 13 に示す計算条件に基づき、QAD-CGGP2R コードにより計算して求めた値を使用する。

(6) 内部被ばく実効線量係数

内部被ばく実効線量係数は、ICRP Publ. 68³及び 72⁴から設定する。

(7) 単位表面濃度あたりの皮膚の等価線量率 (皮膚被ばくの線量係数)

単位表面濃度あたりの皮膚の等価線量率については、SRS No. 44 に値が示されている核種が一部あるものの、数値が示されていない核種については、その元となる文献である「Kocher 他⁵」、「CEA-R-5441⁶」及び「Radiation Protection 65⁷」においても値が示されていない。

そこで、これらの文献に示された評価手法に基づいた計算コードを整備して、その機能を確認の上、対象とする核種に対する値を計算した。評価ではこの値を使用する。

表 11 元素依存パラメータの設定 (1) 根からの移行係数

| No. | 元素 | 根からの移行係数 [-] | 出典 |
|-----|----|--------------|------------|
| 1 | Ti | 0.0055 | ORNL-5786 |
| 2 | V | 0.0005 | SRS No. 44 |
| 3 | Ga | 0.003 | SRS No. 44 |
| 4 | Ge | 0.6 | SRS No. 44 |
| 5 | Rb | 0.2 | SRS No. 44 |
| 6 | Yb | 0.003 | SRS No. 44 |
| 7 | W | 0.01 | SRS No. 44 |
| 8 | Au | 0.1 | SRS No. 44 |

表 11 元素依存パラメータの設定 (2) 分配係数

| No. | 元素 | 分配係数 (cm ³ /g) | 出典 |
|-----|----|---------------------------|--------------------------|
| 1 | Ti | 152 | SRS No. 44 の Eq. (6) で計算 |
| 2 | V | 582 | SRS No. 44 の Eq. (6) で計算 |
| 3 | Ga | 213 | SRS No. 44 の Eq. (6) で計算 |
| 4 | Ge | 0 | RESRAD |
| 5 | Rb | 20 | SRS No. 44 |
| 6 | Yb | 213 | SRS No. 44 の Eq. (6) で計算 |
| 7 | W | 109 | SRS No. 44 の Eq. (6) で計算 |
| 8 | Au | 0 | RESRAD |

表 11 元素依存パラメータの設定 (3) 魚類への移行係数

| No. | 元素 | 魚類への移行係数 (L/kg) | 出典 |
|-----|----|-----------------|-------------------|
| 1 | Ti | 1000 | UCRL-50564 Rev. 1 |
| 2 | V | 10 | UCRL-50564 Rev. 1 |
| 3 | Ga | 400 | SRS No. 19 |
| 4 | Ge | 3300 | UCRL-50564 Rev. 1 |
| 5 | Rb | 2000 | SRS No. 19 |
| 6 | Yb | 25 | NUREG/CR-3585 |
| 7 | W | 1200 | UCRL-50564 Rev. 1 |
| 8 | Au | 35 | SRS No. 19 |

表 11 元素依存パラメータの設定 (4) 濃縮係数 (WF, RF シナリオの吸入被ばく経路)

| No. | 元素 | 濃縮係数 [-] | 出典 |
|-----|----|----------|--------------------------|
| 1 | Ti | 1 | SRS No. 44 の Zr の値と同一に設定 |
| 2 | V | 10 | SRS No. 44 |
| 3 | Ga | 70 | SRS No. 44 |
| 4 | Ge | 1 | SRS No. 44 |
| 5 | Rb | 1 | SRS No. 44 |
| 6 | Yb | 10 | SRS No. 44 |
| 7 | W | 10 | SRS No. 44 |
| 8 | Au | 7 | SRS No. 44 |

表 12 核種依存パラメータの設定 (1) 単位物質中核種濃度あたりの実効線量率

| No. | 核種 | 単位物質中核種濃度あたりの実効線量率 [$(\mu\text{Sv/h})/(\text{Bq/g})$] | | | 考慮している子孫核種 |
|-----|--------|---|---------|---------|------------|
| | | WL, RP | WF, WO | RH | |
| 1 | Ti-44 | 4.7E-01 | 1.1E-01 | 3.2E-01 | Sc-44 |
| 2 | V-49 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | |
| 3 | Ga-67 | 2.4E-02 | 6.4E-03 | 2.0E-02 | |
| 4 | Ge-68 | 1.9E-01 | 4.6E-02 | 1.4E-01 | Ga-68 |
| 5 | Rb-81 | 1.2E-01 | 3.0E-02 | 9.0E-02 | |
| 6 | Yb-169 | 3.5E-02 | 9.8E-03 | 2.9E-02 | |
| 7 | W-188 | 1.0E-02 | 2.6E-03 | 7.7E-03 | Re-188 |
| 8 | Au-195 | 5.2E-03 | 1.6E-03 | 4.7E-03 | |

表 12 核種依存パラメータの設定 (2) 内部被ばく実効線量係数

| No. | 核種 | 内部被ばく実効線量係数 (Sv/Bq) | | | | | |
|-----|--------|---------------------|------------|------------------------|---------------|---------------------|--------------------------|
| | | 吸入 | | | 経口摂取 | | |
| | | 作業員 WL, WF | 成人 RL-A | 子ども RL-C, RF, RP | 作業員 WL, WF | 成人 RL-A, RW-A | 子ども RL-C, RP, RW-C |
| 1 | Ti-44 | 7.2E-08 | 1.2E-07 | 3.1E-07 | 6.2E-09 | 6.2E-09 | 3.3E-08 |
| 2 | V-49 | 2.6E-11 | 3.4E-11 | 2.1E-10 | 1.8E-11 | 1.8E-11 | 1.4E-10 |
| 3 | Ga-67 | 2.8E-10 | 2.4E-10 | 1.0E-09 | 1.9E-10 | 1.9E-10 | 1.2E-09 |
| 4 | Ge-68 | 8.0E-09 | 1.4E-08 | 5.0E-08 | 1.4E-09 | 1.4E-09 | 8.7E-09 |
| 5 | Rb-81 | 6.8E-11 | 3.4E-11 | 2.5E-10 | 5.4E-11 | 5.4E-11 | 3.2E-10 |
| 6 | Yb-169 | 2.4E-09 | 3.0E-09 | 9.8E-09 | 7.1E-10 | 7.1E-10 | 4.6E-09 |
| 7 | W-188 | 1.6E-09 | 1.1E-09 | 9.4E-09 | 3.7E-09 | 3.5E-09 | 2.6E-08 |
| 8 | Au-195 | 1.2E-09 | 1.7E-09 | 6.6E-09 | 2.5E-10 | 2.5E-10 | 1.7E-09 |

※子孫核種の考慮の有無については、表 6.12(1)と同様である。

表 12 核種依存パラメータの設定 (3) 単位表面濃度あたりの皮膚の等価線量率

| No. | 核種 | 単位表面濃度あたりの皮膚の等価線量率 (Sv/y per Bq/cm ²) |
|-----|--------|--|
| 1 | Ti-44 | 2.6E-02 |
| 2 | V-49 | 9.2E-05 |
| 3 | Ga-67 | 7.9E-03 |
| 4 | Ge-68 | 2.3E-02 |
| 5 | Rb-81 | 1.7E-02 |
| 6 | Yb-169 | 1.4E-02 |
| 7 | W-188 | 4.3E-02 |
| 8 | Au-195 | 4.1E-03 |

※子孫核種の考慮の有無については、表 12(1)と同様である。

表 13 単位物質中核種濃度あたりの実効線量率の計算条件

| シナリオ | 計算条件 |
|-------|---|
| WL/RP | 線源の密度 : 1.5g/cm ³ 線源の材質 : コンクリート 線源の形状 : 半無限媒体を模擬 (汚染された地表) 評価点の位置 : 地上 1m 照射ジオメトリ : ROT (RP シナリオは子どもが被ばく対象者であり、成人に対して得られた値を 1.2 倍する) |
| WF/WO | 線源の密度 : 1.5 g/cm ³ 線源の材質 : コンクリート 線源の形状 : 5m×2m×1m の平板 評価点の位置 : 2m×1m の面から 1m 照射ジオメトリ : AP |
| RH | 線源の密度 : 1.5 g/cm ³ 線源の材質 : コンクリート 線源の形状 : 3m×4m、高さ 2.5m の部屋における 2 つの壁と天井。厚さは 20cm。 評価点の位置 : 部屋の中心、地上 1m 照射ジオメトリ : ROT |

AP : 前方-後方照射ジオメトリ

ROT : 回転照射ジオメトリ

5. まとめ

今後は、SRS No. 44 に放射能濃度値が示されていない8核種について、SRS No. 44 の考え方・方法に基づいて放射能濃度値を算出し、その値と第2次中間報告書で算出したクリアランスレベルの暫定値との比較を行う。比較の結果、これらの値が同等とみなせる場合、または、SRS No. 44 の考え方に基づいて算出した放射能濃度値が保守的な（小さい）場合には、この放射能濃度値を対数丸めした値を放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルとして用いることとする。

これらの評価結果については、次回(第21回)のクリアランスWGで検討を行うとともに、現在とりまとめを行っている「放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルの導出に係る技術的検討結果について(案)」にも含める。

参考文献

- 1 YU, C., et al., "User's Manual for RESRAD Version 6", Argonne Natl. Lab., 2001.
- 2 IAEA SRS No.19, "Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment", IAEA, 2001.
- 3 ICRP Publication 68, "Dose Coefficients for Intake of Radionuclides by Workers, Replacement of ICRP Publication 61", ICRP, 1994.
- 4 ICRP Publication 72, "Age-Dependent Dose to Members of Public from Intake of Radionuclides : Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients", ICRP, 1996.
- 5 D.C. Kocher and K. F. Ecerman, "Electron Dose-Rate Conversion Factors for External Exposure of the Skin from Uniformly Deposited Activity on the Body Sureface", Health Physics Vol. 53, No.2, pp.135-141, 1987.
- 6 CEA-R-5441, "DOSIMETRIE ET THERAPEUTIQUE DES CONTAMINATIONS CUTANEEES", 1988
- 7 RP-65, "Principles and Methods for Establishing Concentrations and Quantities (Exemption values) Below which Reporting is not Required in the European Directive", European Commission, 1993.