

$I$ : 吸入摂取した放射能 (Bq)

$e$ : 実効線量係数 (mSv/Bq) 告示別表第3の第2欄

\* 経口摂取以外の場合

$$I = 1.2 \times 10^6 \times C \times t$$

$1.2 \times 10^6$ : 成人が1時間に吸入する空気の平均摂取率 ( $\text{cm}^3/\text{h}$ )

軽作業 5.5 時間 (呼吸率  $1.5\text{m}^3/\text{h}$ ) + 着席休息 2.5 時間 (呼吸率  $0.54\text{m}^3/\text{h}$ ): ICRP Publ. 68 (1994 年)

$C$ : 空气中放射能濃度 ( $\text{Bq}/\text{cm}^3$ )

$t$ : 作業時間 (h/週)

$$C = A \times \text{飛散率} \times 1 \text{ 週間の使用日数} / (V \times 10^6 \times 8 \text{ (1 日の排気設備の稼働時間(h))} \times 1 \text{ 週間の使用日数})$$

$A$ : 1日最大使用予定数量 (Bq)

$V$ : 室内の換気量 ( $\text{cm}^3/\text{h}$ )

## 7. 空气中または排気中の放射性同位元素の濃度評価について

### (1) 空気量

空気量( $\text{m}^3/\text{h}$ ) = 室の容積( $\text{m}^3$ ) × 換気回数 (回/h)

総空気量( $\text{m}^3/\text{h}$ ) = 各室 (管理区域内) の空気量( $\text{m}^3/\text{h}$ )の総和

### (2) 線源等

ジェネレータの親核種は取り出さないのので、当該排気設備の能力に係る計算から除外。

### (3) 濃度限度 (規則別表第3の第2, 4欄)

使用時の化学形の濃度限度値を用いるが、複数の化学形である場合には、対象核種の中で最も厳しい化学形の濃度限度値を適用する。

### (4) 人が常時立ち入る場所における空气中濃度 (1週間における評価)

1) 空气中濃度 (汚染) 最も高い準備室および放射線治療病室について算定する。

#### 2) 計算式

ア. 準備室

$$P_i = \frac{1 \text{ 日の最大使用予定数量} \times \text{飛散率} \times 1 \text{ 週間における排気設備の稼働日数}}{1 \text{ 週間の総空気量}} \quad (4)$$

$P_i$ : 核種  $i$  の1週間における空气中の平均濃度 ( $\text{Bq}/\text{cm}^3$ )

飛散率: 0.001 (液体・固体)

1 (気体, ガストラップ装置使用の場合 0.1)

1 週間の総空気量:  $V \times 8$  (h) × 1 週間における排気設備の稼働日数

$V$ : 排気能力 ( $\text{cm}^3/\text{h}$ )

イ. 放射線治療病室

放射線治療病室の1週間における核種*i*の空气中平均濃度は、式(5)により算定する。

$$P_i = \frac{\text{1日最大使用予定数量} \times \text{飛散率}}{\text{1週間の総空気量}} \times \text{従事係数}^* \dots\dots\dots(5)$$

ただし、従事係数\*：放射線治療病室で従事する1週間の作業時間  
 従事係数＝患者1人に対する従事者の最大従事時間／(8(h)×患者入院日数)

同じ従事者が複数の治療病室で従事する場合はその合計時間

濃度限度比＝ $P_i$ ／核種*i*の濃度限度（規則別表第3の第2欄）

濃度限度比の合計が1以下であることが適合の可否とする。

(5) 排気口における空气中放射性同位元素の濃度

$$P_i = \frac{\text{3月間最大使用予定数量} \times \text{飛散率} \times \text{フィルタ透過率}}{\text{3月間の総排気量}} \dots\dots\dots(6)$$

$P_i$ ：核種*i*の3月間の排気中平均濃度（Bq/cm<sup>3</sup>）

飛散率：0.001（液体・固体）

1（気体，ガストラップ装置使用の場合0.1）

フィルタ透過率：ア. HEPA フィルタ；0.01（気体，ヨウ素を除く）

1（気体）

イ. チャコールフィルタ；

ヨウ素：0.1（厚さ5cm以上）

0.2（厚さ5cm未満2.5cm以上）

3月間の総排気量：1日総排気量×3月間の実稼働日数

濃度限度比＝ $P_i$ ／核種*i*の濃度限度（規則別表第3の第4欄）

濃度限度比の合計が1以下

8. 排水設備の計算

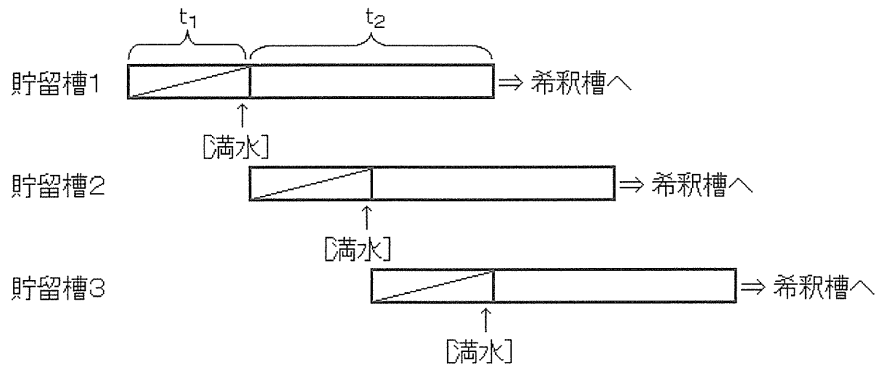
(1) 設備

貯留槽 ○○m<sup>3</sup>×○基

希釈槽 ○○m<sup>3</sup>×1基

(2) 排水中放射性同位元素の濃度の算定に係る条件について

- 1) ジェネレータの親核種は取り出さないの、排水濃度計算から除外。
- 2) 気体状の<sup>81m</sup>Kr, <sup>133</sup>Xeは水に混入しないの、排水濃度計算から除外。
- 3) 減衰を考慮して次のように考える。（貯留槽が3基の場合）



満水日数( $t_1$ ) : 貯留槽 1 基の容量 / 1 日の排水量

放置期間( $t_2$ ) : 満水日数 × (貯留槽の数から 1 を差し引く)

満水日数における 1 日最大使用予定数量の使用日数( $t_1$ ) : (8)式による。

(3) 核医学診療施設からの RI 排水濃度の算定評価について

1) 核医学検査に伴う RI 排水濃度の算定

$^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$  等を用いる SPECT 検査及び  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$  等を用いる PET 検査は連日実施する可能性がある。従って、当該核医学検査に伴う排水口における放射性同位元素の濃度の計算は、この使用実態を想定されている医薬発第 188 号の計算式 ((7)式及び(8)式) に従って算定評価する。

$$W_i = \frac{\text{排水時の貯留槽内の放射能}}{\text{貯留槽1基の貯水量}} \times \text{希釈倍数} \dots\dots\dots (7)$$

$$= \frac{A \times \text{混入率} \times \left[ \frac{1 - e^{-\lambda t_1}}{\lambda} \right]}{V} \times e^{-\lambda t_2} \times \text{希釈倍数}$$

$W_i$  : 排水口における排水中の放射性同位元素の濃度 (Bq/cm<sup>3</sup>)

$A$  : 1 日の最大使用予定数量(Bq)

$\lambda$  : 核種の崩壊定数 (0.693/  $T$ )

$T$  : 核種の物理的半減期 (日)

$t_1$  : 貯留槽 1 基の満水期間あたりの 1 日最大使用予定数量の使用日数

$$t_1 = \frac{\text{3月間最大使用予定数量} / \text{旧最大使用予定数量}}{91 / \text{貯留槽1基の満水になる日数}} \dots\dots\dots (8)$$

小数点以下切り上げ

$t_2$  : 放置期間

$V$  : 貯留槽 1 基の排水量 (cm<sup>3</sup>)

希釈倍数 : 希釈槽にて 10 倍までの希釈を可能とされている

2) 核医学治療に伴う RI 排水濃度の算定

RI 内用療法は、治療用放射性医薬品を一定間隔で投与して治療に供する。例えば、塩化ラジウム-223 ( $^{223}\text{Ra}$ ) 注射液を用いる治療に係る適用方法は、30 日程度の間隔での投与とされている。また、メタストロン ( $^{89}\text{Sr}$ ) 注射液は約 3 月間間隔

での適用とされている。一方、当該 RI 内用療法の放射性医薬品の頒布状況は、<sup>89</sup>Sr、<sup>90</sup>Y 及び <sup>131</sup>I は 1 週間から 1 月間隔で行われている。このような状況を鑑みると、RI 内用療法に関しては、使用実態に即した一定間隔の使用を前提とした RI 排水濃度の算定評価が推奨される。

その算定法として、貯留槽 1 基の満水期間当たりの 1 日最大使用予定数量の使用日数 (t<sub>1</sub>) は、(8)式の値を条件にして、(7)式の一部を改変した (9) 式を用いて算定評価することができる。ただし、当該 RI 内用療法の適用に関して、(9)式を用いて算定評価した場合、RI 内用療法の実施に関してもその使用条件を遵守するものとする。

$$W_i = \frac{A \times \text{混入率} \times \left[ \left( e^{-\lambda t_3} \right) + \left( e^{-\lambda t_4} \right) + \left( e^{-\lambda t_5} \right) + (\bullet) + (\bullet) \right]}{V} \times e^{-\lambda t_2} \div \text{希釈倍数} \cdots (9)$$

なお、

T : 核種 i の物理的半減期 (日)

t<sub>3</sub>、t<sub>4</sub>、t<sub>5</sub>、・・・ : 貯留槽の満水時を起点とした使用日。例えば <sup>131</sup>I の使用が 1 週間間隔であれば、貯留槽の満水日 (t<sub>3</sub>= (0 日))、満水 1 週間前に使用 (t<sub>4</sub>=-7 日)、満水 2 週間前に使用 (t<sub>5</sub>=-14 日)、以下同様 t<sub>6</sub>=-21 日)、<sup>90</sup>Y と <sup>223</sup>Ra の使用間隔が 2 週間であれば、直近の使用日は、貯留槽の満水日 (t<sub>3</sub>= (0 日))、満水 2 週間前に使用 (t<sub>4</sub>=-14 日)、満水 4 週間前に使用 (t<sub>5</sub>=-28 日)、以下同様 t<sub>6</sub>=-42 日)。ただし、t<sub>3</sub>、t<sub>4</sub>、t<sub>5</sub>、・・・の使用回数は、(8)式で求めた貯留槽 1 基の回数を超えないこと。また、<sup>89</sup>Sr の 1 回目の使用は、貯留槽の満水日 (t<sub>3</sub>= (0 日))、満水 30 日前に使用 (t<sub>4</sub>=-30 日)、満水 60 日前に使用 (t<sub>5</sub>=-60 日)。

e<sup>-λt<sub>3</sub></sup>、e<sup>-λt<sub>4</sub></sup>、e<sup>-λt<sub>5</sub></sup>・・・: ① 計算で求める場合; 上の使用日 (t<sub>3</sub>、t<sub>4</sub>、t<sub>5</sub>、・・・) における核種 i の貯留中の減衰値。核種 i の壊変定数 (λ) と t<sub>3</sub>、t<sub>4</sub>、t<sub>5</sub>、・・・により求めることができる。② W<sub>i</sub> の補正值の例を利用する場合 (補正值の例を表 3-1~表 3-4 に示す)。

λ<sub>i</sub> : 核種 i の崩壊定数=0.693/T<sub>i</sub>

表 3 RI 内用療法核種に適用する排水濃度算定に係る使用回数と補正係数の適用について

表 3-1 <sup>131</sup>I (物理的半減期 : 8.021 日) の満水期間における使用日数 (t<sub>1</sub>) と e<sup>-λt<sub>3</sub></sup>~e<sup>-λt<sub>7</sub></sup> の補正係数

使用日数 (t <sub>1</sub> )	7 日毎で使用した場合の補正係数	積算値
1 (t <sub>3</sub> )= 0	1.00	1.000
2 (t <sub>4</sub> )= 7	0.546	1.546

3 (t <sub>5</sub> )= 14	0.299	1.844
4 (t <sub>6</sub> )= 21	0.163	2.007
5 (t <sub>7</sub> )= 28	0.089	2.096

表 3-2 <sup>223</sup>Ra (物理的半減期：11.43 日) の満水期間  
における使用日数 (t<sub>1</sub>) と e<sup>-λt<sub>3</sub></sup>~e<sup>-λt<sub>6</sub></sup> の補正係数

使用日数 (t <sub>1</sub> )	14 日毎で使用した 場合の補正係数	積算値
1 (t <sub>3</sub> )= 0	1.00	1.000
2 (t <sub>4</sub> )= 14	0.428	1.428
3 (t <sub>5</sub> )= 28	0.183	1.611
4 (t <sub>6</sub> )= 42	0.078	1.689

表 3-3 <sup>90</sup>Y (物理的半減期：2.67 日) の満水期間  
における使用日数 (t<sub>1</sub>) と e<sup>-λt<sub>3</sub></sup>~e<sup>-λt<sub>6</sub></sup> の補正係数

使用日数 (t <sub>1</sub> )	14 日毎で使用した 場合の補正係数	積算値
1 (t <sub>3</sub> )= 0	1.00	1.000
2 (t <sub>4</sub> )= 14	0.026	1.026
3 (t <sub>5</sub> )= 28	0.0007	1.0267
4 (t <sub>6</sub> )= 42	1.84E-05	1.0267

表 3-4 <sup>89</sup>Sr (物理的半減期：50.53 日) の満水期間  
における使用日数 (t<sub>1</sub>) と e<sup>-λt<sub>3</sub></sup>~e<sup>-λt<sub>6</sub></sup> の補正係数

使用日数 (t <sub>1</sub> )	30 日毎で使用した 場合の補正係数	積算値
1 (t <sub>3</sub> )= 0	1.00	1.00
2 (t <sub>4</sub> )= 30	0.66	1.66
3 (t <sub>5</sub> )= 60	0.44	2.10
4 (t <sub>6</sub> )= 90	0.29	2.39

なお、t<sub>3</sub>から t<sub>4</sub>、t<sub>5</sub>... の日数 (又は回数) は、(8) 式で算出した t<sub>1</sub> の使用日数 (又は回数) の範囲において、<sup>131</sup>I は 7 日間間隔、<sup>223</sup>Ra と <sup>90</sup>Y は 2 週間間隔、<sup>89</sup>Sr は 30 日間間隔での使用を考慮して評価した場合を例示した。

(4) 濃度限度比

濃度限度との比 =  $W_i$  / 核種  $i$  の濃度限度 (規則別表第 3 の第 3 欄) … (10)

濃度限度比の合計は 1 以下 (濃度限度比の総計が 1 を超える場合, 10 倍まで希釈可能)

II 診療用放射性同位元素使用施設等における濃度限度等に係る基準の  
適合性に関する計算書（作成例）

1. 診療用放射性同位元素使用室施設，貯蔵施設，廃棄施設及び管理区域境界，敷地境界等における外部放射線の実効線量の算定

(1) 各施設における実効線量基準

- 1) 人が常時立ち入る場所における線量：1 mSv/週
- 2) 管理区域境界における線量：1.3 mSv/3 月
- 3) 病院等の敷地境界及び院内の人が居住する区域における線量：250 $\mu$ Sv/3 月
- 4) 病室に入院している患者の被ばく防止に係る線量（診療による被ばくを除く）：1.3mSv/3 月

2. 使用予定核種および数量、使用施設等における濃度限度等（外部放射線に係る基準、排水・排気設備の能力）に係る適合性について

以下をモデルとして評価した。

- (1) 使用予定核種および数量：別紙 1 の通り。
- (2) 算定方法：図面上に使用場所を決めて、線源位置の設定を行い、診療従事者等の被ばくが予想される位置を計算上の評価点とする。
- (3) 排水設備：貯留槽（10m<sup>3</sup>）2 基，希釈槽（10m<sup>3</sup>）1 基、1 日当たりの RI 排水量；200L
- (4) 排気設備：RI 排気設備の能力は表 1 の通り。

表 1 RI 排気設備の排気能力

フィルタ等	プレフィルタ 1 段，HEPA フィルタ 1 段 チャコールフィルタ（5cm）1 段
部屋名等	排風能力（m <sup>3</sup> /h）
準備室	560
処置室	560
体外測定室	5,960
試料検査室	3,200
貯蔵室	370
保管廃棄室	1,200
RI 治療病室	660
その他	8,700
総排気量	21,210

### 3. 核医学施設における濃度限度等に係る基準適合性の算定

- (1) 外部被ばくの計算：当該ガイドライン 6 (1)の(2)式により算定した。
- (2) 内部被ばくの計算：当該ガイドライン 6 (2)の(3)式により算定した
- (3) 実効線量率定数等はアイソトープ手帳（平成 23 年 11 版（公社）日本アイソトープ協会），放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル 2007（(財)原子力安全技術センター）の値を用いる（表に示されている厚さを超えるしゃへい体の透過率は，表中最大厚の値を使用すること。）。また， $^{223}\text{Ra}$  の放射線のしゃへい体による透過率は，細野班で検討された実効線量透過率を用いた（表 2、3 参照）。

表 2  $^{223}\text{Ra}$  (放射平衡状態) の漏えい線量に係るしゃへい体の実効線量透過率

厚さ (cm)	実効線量透過率 $F_a$			
	コンクリート*	水	鉄	鉛
0	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
1	1.038E+00	1.047E+00	6.764E-01	1.053E-01
2	1.024E+00	1.089E+00	4.507E-01	3.504E-02
3	9.802E-01	1.122E+00	2.865E-01	1.471E-02
4	9.225E-01	1.144E+00	1.774E-01	6.418E-03
5	8.555E-01	1.158E+00	1.082E-01	2.820E-03
6	7.837E-01	1.163E+00	6.571E-02	1.238E-03
7	7.145E-01	1.158E+00	3.988E-02	5.449E-04
10	5.244E-01	1.108E+00	9.099E-03	4.755E-05
20	1.513E-01	7.605E-01	8.834E-05	2.585E-08
30	3.796E-02	4.316E-01	-	-
40	9.191E-03	2.235E-01	-	-
50	2.262E-03	1.099E-01	-	-
60	5.711E-04	5.262E-02	-	-
70	1.485E-04	2.480E-02	-	-
100	2.863E-06	2.555E-03	-	-
200	6.690E-12	2.034E-06	-	-

\*) コンクリートの密度：2.1 (g/cm<sup>3</sup>)



表3  $^{223}\text{Ra}$  (放射平衡状態) 漏えい線量に係る鉛と鉄の実効線量透過率

鉛		鉄	
厚さ(cm)	透過率	厚さ(cm)	透過率
0	1.000	0	1.000
0.1	0.798	0.1	0.962
0.2	0.638	0.12	0.954
0.3	0.509	0.15	0.943
0.4	0.406	0.2	0.925
0.5	0.324	0.3	0.889
0.6	0.259	0.5	0.822
0.7	0.207	0.7	0.761
0.8	0.165	0.8	0.731
0.9	0.132	0.9	0.703
1.0	0.105	1	0.676

\* )  $^{223}\text{Ra}$  の鉛及び鉄 (0~1.0cm) による実効線量透過率は補間法により求めた。

(4) 使用核種による外部被ばく評価について

- 1)  $^{81}\text{Rb}-^{81\text{m}}\text{Kr}$  ジェネレータのため外部被ばく線量の評価：実効線量率定数量大きい親核種の  $^{81}\text{Rb}$  により代表して評価した。
- 2) 管理区域境界等で評価時間が特定していない場合：40 [時間/週] ×13 [週/3月間] =500 [時間/3月間] とする。

(5) 使用施設における線量の計算

1) 準備室 (線源  $S_1$ ) について

- ① 診療用放射性同位元素の分注、標識などの調製作業は準備室の RI オークリッジ型フード内の中央で行い、フード内は鉛レンガ (鉛厚 5cm) でブロック。
- ②  $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$  ジェネレータは専用の鉛容器 (鉛厚：側面 6cm, 上面 4.5cm, 下面 5.5cm) に収納されている。
- ③  $^{81}\text{Rb}-^{81\text{m}}\text{Kr}$  ジェネレータは専用の鉛容器 (鉛厚：側面 6.8cm, 上面 6.3cm, 下面 4.2cm) に収納してフード中央に置き、その他の核種も全て1日の最大使用予定数量がフードの鉛レンガ内に存在する。
- ④ 作業時間は週 5 時間とする。
- ⑤ 管理区域の境界における上記線源の存在時間は3月間で 65 時間 (5 時間/週×13 週) とする。

2) 処置室 (線源  $S_2$ ) について

- ① 処置室での線源の取扱は、患者一人毎に注射などを行う場所であり、複数の線源を同時に使用しない。使用頻度および使用量ともに多い<sup>99m</sup>Tcで代用して計算。患者に投与する投与量<sup>99m</sup>Tcの1,000MBqを鉛（タングステン）シンリングシールド或いは鉛容器（鉛当量2mm）に内在して、部屋の中央に存在すると仮定。
  - ② 作業時間は週5時間とする。
  - ③ 管理区域境界の評価は上記の線源とし、評価時間は65(5時間/週×13時間/3月)時間とする。
- 3) 体外測定室（線源 S<sub>3</sub>）について
- ① 体外測定室での線源は、装置1台に患者1人撮像するとして、それぞれの装置に代表核種と数量が装置の中央に存在すると仮定する。また、カメラとコンソールの上に鉛当量1mm衝立を設けている。
  - ② 従事者の作業時間:(i) 検査実施施設での撮像担当者が1~2名の場合の作業時間は週28時間、(ii) 担当者が2名を超える場合は週40時間とする。
  - ③ 管理区域境界における評価時間:(i) 撮像担当者の作業時間が28時間を適用した病院等における線源の存在時間は3月間で364(28[時間/週]×13[週/3月])時間、(ii) 作業時間週40時間を適用した病院等は500時間。
- 4) インビボ（試料）検査室（線源 S<sub>4</sub>）について
- ① 放射性同位元素の取扱い場所は作業台。
  - ② 使用核種は<sup>125</sup>I, <sup>59</sup>Fe, <sup>51</sup>Cr。
  - ③ 作業時間は週38時間。
  - ④ 管理区域境界の評価は、上記線源の3月間の最大使用予定数量で算定評価する場合の評価時間は7.6時間とする。
- 5) RI治療病室（線源 S<sub>6</sub>）について
- RI内用療法による治療は、<sup>131</sup>I, <sup>90</sup>Y, <sup>89</sup>Sr, <sup>223</sup>Raが利用される。これら医薬品核種のうち<sup>90</sup>Y, <sup>89</sup>Sr及び<sup>131</sup>I(1,100MBq)によるアブレーションは専ら外来治療が行われている。また、<sup>223</sup>Raについても外来診療が想定されている。従って、当該治療病室の線量評価に係る核種は主に<sup>131</sup>Iである。
- ① 使用核種は<sup>131</sup>Iで、1患者あたりの最大投与量は3,700MBq。
  - ② 当該治療病室での作業時間は週4時間。
  - ③ 管理区域境界等における3月当たりの線量等の評価は、3月間の最大使用予定数量を用い評価時間は4時間。
- (6) 貯蔵施設(線源 SC)における線量の計算  
[診療用放射性同位元素貯蔵室について]
- ① 貯蔵室には貯蔵箱（鉛厚：5cm）を設置し、ジェネレータを除く全核種の最大貯蔵予定数量を貯蔵する。なお、ジェネレータは次の条件で別途計算する。

- ②  $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$  ジェネレータは専用の鉛容器（鉛厚：側面 6cm, 上面 4.5cm, 下面 5.5cm）に収納。
- ③  $^{81}\text{Rb}-^{81\text{m}}\text{Kr}$  ジェネレータは専用の鉛容器（鉛厚：側面 6.8cm, 上面 6.3cm, 下面 4.2cm）に収納。
- ④ 作業時間は週 1 時間。
- ⑤ 管理区域境界における漏えい線量は、最大貯蔵予定数量と評価時間は 3 月間 500 時間で評価。
- ⑥ 敷地境界および居住区域境界における線量は、最大貯蔵予定数量と 3 月間の評価時間 2184 時間で評価。

(7) 廃棄施設における線量の計算

1) 保管廃棄室(線源 SH)について

- ① RI 廃棄物は年 1 回業者委託により収集されるものとする。
- ② 保管廃棄数量は 1 日の最大使用予定数量の 1/10 が廃棄されるものとし、使用日数分蓄積されるとして計算する（当該ガイドライン 3.(7)の(1)式を用いた）。
- ③ 計算結果を別紙 2 に示す。
- ④ ジェネレータの親核種について

i)  $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$  ジェネレータは専用の鉛容器（鉛厚：側面 4cm, 上面 4.5cm, 下面 3.5cm）に収納して保管廃棄されているものとする。

1 週間に一度 7,400MBq を購入し、前回のものを廃棄する。購入量を  $X=7,400\text{MBq}$  とし、1 週間の減衰率を  $Y=e^{-(0.693/2.7475 \times 7)}$  としたとき

$$1 \text{ 週目} : A_1 = XY$$

$$2 \text{ 週目} : A_2 = XY + XY^2$$

$$n \text{ 週目} : A_n = XY + XY^2 + XY^3 + \dots + XY^{n-1} + XY^n = XY [(1 - Y^n) / (1 - Y)]$$

さらに 1 年間では  $XY / (1 - Y) = 1527.3\text{MBq}$

ii)  $^{81}\text{Rb}-^{81\text{m}}\text{Kr}$  ジェネレータは専用の鉛容器（鉛厚：側面 1.8cm, 上面 2.7cm, 下面 1.5cm）に収納されたまま保管廃棄されるものとする。

1 週間に一度 370MBq を購入し、前回のものを廃棄する。購入量を  $X=370\text{MBq}$  とし、1 週間の減衰率を  $Y=e^{-(0.693/0.1907 \times 7)}$  としたとき、 $Y \approx 0$  となり  $^{81}\text{Rb}-^{81\text{m}}\text{Kr}$  ジェネレータについての保管廃棄量は無視できるものとする。

- ⑤  $^{131}\text{I}$  は、鉛容器（鉛 2cm）内に納めて所定の場所で保管。
- ⑥ 他の核種についても輸送用に用いられるしゃへい容器（鉛当量 2mm）を考慮する。

また、ドラム缶（鉄製厚さ 0.12cm）および保管廃棄室扉（鉄製厚さ 0.2cm）

を考慮する。

- ⑦ 作業時間は週 1 時間とする。
- ⑧ 管理区域境界における線量評価は、最大保管廃棄予定数量で 3 月間の評価時間は 500 時間とする。
- ⑨ 敷地境界および居住区域境界における線量評価は、最大保管廃棄予定数量について 3 月間の評価時間は 2184 時間とする。

2) 排水設備（線源 SW）の外側の線量について

- ① 貯留槽内に流れる混入率は、1 日の最大使用予定数量の 1/100 とする。
- ② 貯留槽内の放射性同位元素量が最大になるのは貯留槽が満水になったときである。
- ③ 1 日の流入量は 200L (0.2 m<sup>3</sup>) とする。
- ④ 貯留槽 1 槽の容量は 10m<sup>3</sup> で、50 日間貯留、50 日間の減衰期間を経て放流すると仮定する。
- ⑤ 評価点は 2 槽の貯留槽の中心から最短距離にある点とする。
- ⑥ <sup>81</sup>Rb, <sup>99</sup>Mo はジェネレータの親核種であり封入されて取り出すことがないので排水濃度の計算より除く。また、気体状の <sup>81m</sup>Kr, <sup>133</sup>Xe は排水中の濃度の算定評価に含まないものとする。
- ⑦ 満水時に放射性核種の量が最大になるとして計算するが、貯留槽が満水になるまでの期間中に 1 日の最大使用予定数量が何日分流入するかを 3 月間最大使用予定数量より算出する。

$$Q_i = \int_0^{t_i} N_i \times \text{混入率} \times e^{-\lambda t} dt \dots\dots\dots (3.6.3.13)$$

$$= N_i \text{混入率} \times T_i / 0.693 \times (1 - e^{-0.693 \times t_i / T_i})$$

$Q_i$ : 核種  $i$  の流入量 (MBq)

$N_i$ : 核種  $i$  の 1 日最大使用予定数量 (MBq)

混入率: 0.01

$\lambda_i$ : 核種  $i$  の崩壊定数 (0.693/ $T_i$ )

$T_i$ : 核種  $i$  の半減期 (日)

$t_i$ : 核種  $i$  の貯留槽 1 基の満水期間あたりの 1 日の最大使用予定数量の使用回数

$t_i = (3 \text{ 月間最大使用予定数量} / 1 \text{ 日最大使用予定数量}) / (91 / \text{貯留槽 1 基の満水日数})$

小数点以下は切り上げ

$$\text{放置後 RI 量} = \text{放置開始時 RI 量} \times e^{-(0.693 \times t_2 / T_i)}$$

$t_2$ : 放置日数

貯留槽線源 SW = 放置開始時 RI 量 + 放置後 RI 量

- ⑧ 計算結果を別紙 3 に示す通り  $0.035 < 1.3/3$  月間。
- ⑨ 管理区域境界における評価は、満水時の放射能を適用し、評価時間は 3 月間 500 時間とする。
- ⑩ 敷地境界および居住区域境界における線量評価は、満水時の放射能を適用し、評価時間は 3 月間 2184 時間とする。
- (8) 内部被ばく線量の算定
- 1) 診療従事者の内部被ばく線量は、取り扱う放射エネルギーが最も多い準備室で、被ばく線量は大きい体外測定室および RI 治療病室について行う。
  - 2) 液体・固体のものについては飛散率 1/1000、気体の場合ガストラップ装置を使用する場合は飛散率 1/10 とする。
  - 3) ジェネレータの親核種 ( $^{81}\text{Rb}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ) はカラム等に封入されており、取り出すことがないので計算より除く。
  - 4) 計算は平成 12 年厚生省告示第 398 号に基づいて行う。
  - 5) 排風機的能力は準備室  $560\text{m}^3/\text{h}$ 、体外測定室  $5,960\text{m}^3/\text{h}$ 、RI 治療病室  $660\text{m}^3/\text{h}$  を想定して算定した。
  - 6) 評価時間は、準備室は週 5 時間、体外測定室は週 28 時間（核医学検査に従事する者が 2 名を超える病院等では週 40 時間）、RI 治療病室は週 4 時間とする。
  - 7) 計算結果を別紙 4 に示す（準備室； $0.17\text{mSv}/\text{週}$ 、体外測定室； $0.015\text{mSv}/\text{週}$ 、RI 治療病室； $0.037\text{mSv}/\text{週}$ ）。
- (9) 核医学施設等における外部放射線の実効線量に関する基準の適合性の結果をまとめて表 4 に示す（詳細は別紙 5-1～別紙 5-4-3 の通り）。

表 4 当該施設等における外部放射線の実効線量の基準の適合性について

評価点	算定結果	実効線量限度	適合
人が常時立ち入る場所（体外測定室）（別紙 5-1(1)S3）	$0.561\text{mSv}/\text{週}$	$1\text{mSv}/\text{週}$	適合
人が常時立ち入る場所（RI 治療病室）（別紙 5-1(1)S6）	$0.811\text{mSv}/\text{週}$	$1\text{mSv}/\text{週}$	適合
管理区域境界（E 方向）（別紙 5-3-4E）	$0.433\text{mSv}/3$ 月間	$1.3\text{mSv}/3$ 月間	適合
管理区域境界（D 方向）（別紙 5-3-4D）	$0.673\text{mSv}/3$ 月間	$1.3\text{mSv}/3$ 月間	適合
敷地境界（別紙 5-4-1）	$9\mu\text{Sv}/3$ 月間	$250\mu\text{Sv}/3$ 月間	適合
居住区域境界（一般病室の隣）（別紙 5-4-3）	$91\mu\text{Sv}/3$ 月間	$250\mu\text{Sv}/3$ 月間	適合
一般病室（別紙 5-4-2）	$4\mu\text{Sv}/3$ 月間	$1.3\text{mSv}/3$ 月間	適合

以上の通り、人が常時立ち入る場所、管理区域境界、敷地境界、居住区境界、一般病室における線量基準を超える地点はなく、何れも医療法の基準に適合している。

#### 4. 排気設備の能力の適合性に関する算定評価

##### (1) 人が常時立ち入る場所における空气中濃度

- 1) 取り扱う放射能の数量が最も多い準備室で算定する。
- 2) 準備室内に飛散する診療用放射性同位元素の量は 1 日の最大使用予定数量の 1/1000 とする。ただし、 $^{81m}\text{Kr}$ 、 $^{133}\text{Xe}$  はガストラップ装置を使用することにより 1/10 とする。
- 3) ジェネレータの親核種 ( $^{81}\text{Rb}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ ) は封入されていて取り出すことがないため計算より除く。
- 4) 準備室の排気量は  $560\text{m}^3/\text{h}$  とする。
- 5) 準備室の 1 日の作業時間は 8 時間、1 週間の稼働日数は 5 日とする。
- 6) RI 治療病室の排気量は  $660\text{m}^3/\text{h}$  と仮定した。
- 7) RI 治療病室の 1 週間の従事時間は 4 時間とする。
- 8) 計算式

##### ① 準備室（空气中の濃度）

$$P_i = A \times \text{飛散率} \times \text{稼働日数} / (\text{1 週間の総排気量})$$

$P_i$ : 核種  $i$  の 1 週間の平均濃度 ( $\text{Bq}/\text{cm}^3$ )

$A_i$ : 核種  $i$  の 1 日最大使用予定数量 ( $\text{Bq}$ )

1 週間の総排気量:  $V \times 8(\text{h}) \times \text{使用日数}$  (5 日)

$V$ : 排風機能力 ( $\text{cm}^3/\text{h}$ )

##### ② RI 治療病室（空气中の濃度）

$$P_i = A \times \text{飛散率} / (\text{1 週間の総排気量}) \times \text{従事係数}$$

$P_i$ : 核種  $i$  の 1 週間の平均濃度 ( $\text{Bq}/\text{cm}^3$ )

$A_i$ : 核種  $i$  の 1 日最大使用予定数量 ( $\text{Bq}$ )

1 週間の総排気量:  $V \times 24(\text{h}) \times \text{患者入院日数}$  (5 日)

$V$ : 排風機能力 ( $\text{cm}^3/\text{h}$ )

従事係数 = 1 人当りの患者に従事者の最大時間 / (8 時間  $\times$  患者入院日数)

##### ③ 濃度限度比 = $P_i$ / 核種 $i$ の濃度限度 (規則別表第 3 の第 2 欄)

濃度限度比の合計が 1 以下

- 9) 計算結果を別紙 6 に示す通り  $0.319 < 1$  で、法の基準に適合する。

##### (2) 排気設備の能力に関する算定

- 1) 排気浄化装置 (フィルタユニット)

プレフィルタ

HEPA フィルタ

チャコールフィルタ

- 2) 総排気量；計算例では、施設の排気能力のモデルを 21,210 m<sup>3</sup>/h とした。
- 3) 排気口における濃度は、空気中に飛散する診療用放射性同位元素量は 3 月の間最大予定数量の 1/1000 とする。ただし、<sup>81m</sup>Kr, <sup>133</sup>Xe の飛散率は、ガストラップ装置を使用することにより 1/10 とする。
- 4) HEPA フィルタの透過率は 1/100, <sup>123</sup>I, <sup>125</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>81m</sup>Kr, <sup>133</sup>Xe は 1 とする。
- 5) チャコールフィルタのヨウ素 (<sup>123</sup>I, <sup>125</sup>I, <sup>131</sup>I) に対する透過率は、厚さ 5cm の場合 1/10, 2.5cm の場合は 2/10 とする。
- 6) 診療用放射性同位元素の取扱は原則として準備室内のフード内で行う。
- 7) 3 月間における排気設備の稼働日数は、65 日 (5 (日/週) ×13 (週/3 月)) と仮定した。
- 8) 計算式

$$P_i = \frac{A_i \times \text{飛散率} \times \text{透過率}}{\text{3月間総排気量}}$$

$P_i$ : 核種  $i$  の排気口における 3 月間の平均濃度 (Bq/cm<sup>3</sup>)

3 月間総排気量 = 1 日総排気量 × 3 月間の排風機稼働日数 (65 日)

1 日総排気量:  $V \times 8$  (h)

$A_i$ : 核種  $i$  の 3 月間の最大使用予定数量 (Bq)

$V$ : 排風機の能力 (cm<sup>3</sup>/h)

濃度限度比 =  $P_i$  / 核種  $i$  の濃度限度 (規則別表第 3 の第 4 欄)

濃度限度比の合計が 1 以下

- 9) 計算結果を別紙 7 に示す。

### (3) 結果

人が常時立ち入る場所における濃度限度比の和は、別紙 6 に示す通り 0.322 < 1 となり、法の基準に適合している。また、排気口における濃度限度に対する比の和は、別紙 7 に示す通り 0.081 < 1 で、法の基準に適合している。

## 5 排水設備の能力の適合性に関する算定

### (1) 排水設備

貯留槽 10 m<sup>3</sup> × 2 槽

希釈槽 10 m<sup>3</sup> × 1 槽

### (2) 使用の条件等

- 1) 診療用放射性同位元素使用施設からの排水は、一般の排水系統と全く独立した系統配管で当該 RI 排水処理施設に流入する。
- 2) 排水中への診療用放射性同位元素の混入する割合は 1 日の最大使用予定数量の 1/100。

- 3) 1日の流入量は手洗い等を含めた水量の合計を200L (0.2 m<sup>3</sup>) とし、貯留槽10m<sup>3</sup>の場合の満水になるまでの期間は50日間とする。
- 4) 排液は、まず第1貯留槽に貯留し、満水(50日間)になると第2貯留槽に切り替えて貯留する。次に第2貯留槽が満水(50日間)になれば、第1貯留槽中の濃度を測定する。必要ならば希釈槽で希釈する。従って、減衰期間は50日間である。
- 5) 希釈槽に移送された排液は、測定を行い排水中濃度が限度以下であることを確認し、一般排水に放流する。
- 6) 貯留槽内の排液中放射性同位元素の濃度計算に際しては貯留期間、減衰期間の双方で半減期による減衰を考慮する。
- 7) <sup>99</sup>Mo, <sup>81</sup>Rb は、ジェネレータの親核種であり封入されていて取り出すことがないので計算から除外した。また、<sup>133</sup>Xe, <sup>81m</sup>Kr は気体であり排水中に混入することはないので計算から除外した。
- 8) 希釈槽にて8倍希釈後一般排水へ放流する。ただし、通知では10倍まで希釈することを容認している。

9) 計算式

(3) RI 排水設備の濃度の適合性に関する評価

1) 核医学検査に伴う RI 排水濃度の算定評価

当該核医学検査に伴う排水口における放射性同位元素の濃度の計算は、この使用実態を想定されている医薬発第188号の計算式((7)式及び(8)式)に従って算定評価する。

$$W_i = \frac{\text{排水時の貯留槽内の放射能}}{\text{貯留槽1基の貯水量}} \times \text{希釈倍数} \dots\dots\dots(7)$$

$$= \frac{A \times \text{混入率} \times \left[ \frac{1 - e^{-\lambda t_1}}{\lambda} \right] \times e^{-\lambda t_2} \times \text{希釈倍数}}{V}$$

$W_i$ : 排水口における排水中の放射性同位元素の濃度 (Bq/cm<sup>3</sup>)

$A$ : 1日の最大使用予定数量(Bq)

$\lambda$ : 核種の崩壊定数 (0.693/  $T$ )

$T$ : 核種の物理的半減期 (日)

$t_1$ : 貯留槽1基の満水期間あたりの1日最大使用予定数量の使用日数

$$t_1 = \frac{\text{3月間最大使用予定数量} / \text{1日最大使用予定数量}}{91 / \text{貯留槽1基の満水になる日数}} \dots\dots\dots(8)$$

小数点以下切り上げ

$t_2$ : 放置期間

$V$ : 貯留槽1基の排水量 (cm<sup>3</sup>)

希釈倍数: 希釈槽にて10倍までの希釈を可能とされている



2) RI 内用療法に伴う RI 排水能力の適合性に関する算定

RI 内用療法に関する RI 排水、当該 RI 内用療法の適用に関して、(9)式を用いて算定評価した。

$$W_i = \frac{A \times \text{混入率} \times \left[ \left( e^{-\lambda_i t_3} \right) + \left( e^{-\lambda_i t_4} \right) + \left( e^{-\lambda_i t_5} \right) + (\bullet) + (\bullet) \right]}{V} \times e^{-\lambda_i t_2} \div \text{希釈倍数} \cdots (9)$$

なお、

T：核種 i の物理的半減期（日）

$t_3, t_4, t_5, \dots$ ：貯留槽の満水時を起点とした使用日。例えば  $^{131}\text{I}$  の使用が 1 週間間隔であれば、直近の使用日は、貯留槽の満水日 ( $t_3 = 0$  日)、満水一週間前に使用 ( $t_4 = -7$  日)、満水 2 週間前に使用 ( $t_5 = -14$  日)、以下同様  $t_6 = -21$  日)。 $^{223}\text{Ra}$  の使用が 2 週間隔であれば、直近の使用日は、貯留槽の満水日 ( $t_3 = 0$  日)、満水 2 週間前に使用 ( $t_4 = -14$  日)、満水 4 週間前に使用 ( $t_5 = -28$  日)、以下同様  $t_6 = -42$  日)。 $^{89}\text{Sr}$  についての直近の使用は、貯留槽の満水日 ( $t_3 = 0$  日)、満水 30 日前に使用 ( $t_4 = -30$  日)、満水 60 日前に使用 ( $t_5 = -60$  日)。

$e^{-\lambda t_3}, e^{-\lambda t_4}, e^{-\lambda t_5}, \dots$ ：① 計算で求める場合；上の使用日 ( $t_3, t_4, t_5, \dots$ ) における核種 i の貯留中の減衰値。核種 i の壊変定数 ( $\lambda$ ) と  $t_3, t_4, t_5, \dots$  により求めることができる

$\lambda_i$ ：核種 i の崩壊定数 =  $0.693/T_i$

濃度限度比 =  $W_i / \text{核種 } i \text{ の濃度限度}$ （規則別表第 3 の第 3 欄を参照）

濃度限度比の合計が 1 以下

10) 計算結果を別紙 8 に示す。

(2) 結果

排水時の濃度限度比の和は  $0.61 < 1$  で、法の基準に適合しているため、一般排水に放流することができる。

5. 以上の算定結果により、当該診療用放射性同位元素使用施設は医療法に定めた基準に適合している。

別紙1 使用核種及び最大使用予定数量

(診断用)

核種	形状	化学形	半減期 <sup>*)</sup>	1日最大 使用予定 数量 (MBq)	3月間最 大使用予 定数量 (MBq)	年間最大 使用予定 数量 (MBq)	最大貯蔵 予定数量 (MBq)
<sup>51</sup> Cr	液体	酸化物	27.7 d	7.41	22.2	88.8	14.8
<sup>59</sup> Fe	液体	酸化物、水酸化物 及びハロゲン化物 以外の化合物	44.5 d	1.85	18.5	74	5.55
<sup>67</sup> Ga	液体	酸化物、水酸化物 及びハロゲン化物 以外の化合物	3.261 d	1,110	9,250	37,000	2,220
<sup>81</sup> Rb	ジェネレータ	全ての化合物	4.576 h	370	9,250	37,000	370
<sup>81m</sup> Kr	液体	サブマージョン	13.1 s	740	8,880	35,520	740
<sup>99</sup> Mo	ジェネレータ	酸化物	65.94 h	7,400	192,400	769,600	14,800
<sup>99m</sup> Tc	液体	全ての化合物	6.015 h	11,100	721,500	2,886,000	11,100
<sup>111</sup> In	液体	全ての化合物	2.805 d	222	3,996	15,984	444
<sup>123</sup> I	液体・固体	ヨウ化メチル以外 の化合物	13.22 h	740	18,500	74,000	740
<sup>125</sup> I	液体	ヨウ化メチル以外 の化合物	59.4 d	3.7	55.5	222	11.1
<sup>131</sup> I	液体・固体	ヨウ化メチル以外 の化合物	8.021 d	1,110	11,100	44,400	2,220
<sup>133</sup> Xe	気体	サブマージョン	5.248 d	740	18,500	74,000	1,480
<sup>201</sup> Tl	液体	全ての化合物	72.91 h	740	18,500	74,000	1,480

(治療用)

<sup>89</sup> Sr	液体	塩化物	50.53 d	141	423	1,692	423
<sup>90</sup> Y	液体	塩化物	64.1 h	1,850	5,550	22,200	1,850
<sup>131</sup> I	液体・固体	ヨウ化メチル以外 の化合物	8.021 d	3,700	18,500	74,000	7,400
<sup>223</sup> Ra	液体	塩化物	11.43 d	12	108	432	60

\*) アイトープ手帳(改訂11版) 公益社団法人 日本アイトープ協会(2011)

## 別紙2 保管廃棄物の数量

核種	半減期 (日)	実効線量 率定数* 1)	1日最大 使用予定 数量 (MBq)	3月間最 大使用予 定数量 (MBq)	廃棄率	使用 日数 t1	最大保管 廃棄予定 数量 (MBq)
<sup>51</sup> Cr	27.7	0.00458	7.41	22.2	0.1	3	2.39
<sup>59</sup> Fe	44.5	0.147	1.85	18.5	0.1	10	2.25
<sup>67</sup> Ga	3.261	0.0225	1,110	9,250	0.1	9	445.18
<sup>81</sup> Rb	0.190667	0.0895	370	9,250	0.1	25	10.18
<sup>81m</sup> Kr	0.000152	0.019	740	8,880	0.1	12	0.02
<sup>99</sup> Mo	2.7475	0.0377	7,400	192,400	0.1	26	2929.68
<sup>99m</sup> Tc	0.250625	0.0184	11,100	721,500	0.1	65	401.43
<sup>111</sup> In	2.805	0.0556	222	3,996	0.1	18	88.80
<sup>123</sup> I	0.550833	0.0226	740	18,500	0.1	25	58.82
<sup>125</sup> I	59.4	0.0126	3.7	55.5	0.1	15	7.67
<sup>131</sup> I	8.021	0.0548	4,810	29,600	0.1	7	2527.44
<sup>133</sup> Xe	5.248	0.00945	740	18,500	0.1	25	539.75
<sup>201</sup> Tl	72.91	0.0142	740	18,500	0.1	25	2754.86
<sup>89</sup> Sr	50.53	0.00118	141	423	0.1	3	57.73
<sup>90</sup> Y	2.670833	0.00263	1,850	5,550	0.1	3	385.63
<sup>223</sup> Ra	11.4	0.0454	12.0	108	0.1	9	8.36

\*1) アイソトープ手帳(改訂11版)公益社団法人 日本アイソトープ協会(2011)

\*2) <sup>89</sup>Sr及び<sup>90</sup>Yの実効線量率定数:ターゲットが原子番号20のときのβ線による制動放射線の実効線量率定数;放射線施設の遮蔽計算実務(放射線)データ集 公益財団法人 原子力安全技術センター(2012)

以下別表3、別表5-1～別表5-4-3及び別表7について同じ。

別紙3 排水設備(貯留槽SW)からの外部放射線の計算結果(管理区域の境界における線量)

線源	核種	放射能 MBq	実効線量 率定数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot$ $\text{MBq}\cdot\text{h}^{-1}$	鉄の遮へい体		鉛の遮へい体		コンクリートの遮へい体		距離 (m)	評価 時間 (h)	実効線量 $\mu\text{Sv}/\text{h}$	実効線量 $\mu\text{Sv}/3\text{月}$
				厚さ (cm)	透過率	厚さ (cm)	透過率	厚さ (cm)	透過率				
SW	<sup>51</sup> Cr	0.019	0.00458	0	1	0	1	0	1	3	500	9.5.E-06	4.7.E-03
	<sup>59</sup> Fe	0.015	0.147	0	1	0	1	0	1	3	500	2.5.E-04	1.3.E-01
	<sup>67</sup> Ga	3.418	0.0225	0	1	0	1	0	1	3	500	8.5.E-03	4.3.E+00
	<sup>99m</sup> Tc	0.102	0.0184	0	1	0	1	0	1	3	500	2.1.E-04	1.0.E-01
	<sup>111</sup> In	4.014	0.0556	0	1	0	1	0	1	3	500	2.5.E-02	1.2.E+01
	<sup>123</sup> I	0.823	0.0226	0	1	0	1	0	1	3	500	2.1.E-03	1.0.E+00
	<sup>125</sup> I	0.588	0.0126	0	1	0	1	0	1	3	500	8.2.E-04	4.1.E-01
	<sup>131</sup> I	0.049	0.0548	0	1	0	1	0	1	3	500	3.0.E-04	1.5.E-01
	<sup>201</sup> Tl	4.728	0.0142	0	1	0	1	0	1	3	500	7.5.E-03	3.7.E+00
	<sup>89</sup> Sr	15.731	0.00118	0	1	0	1	0	1	3	500	2.5.E-02	1.2.E+01
	<sup>90</sup> Y	0.352	0.00263	0	1	0	1	0	1	3	500	4.6.E-05	2.3.E-02
	<sup>223</sup> Ra	1.899	0.0454	0	1	0	1	0	1	3	500	5.5.E-04	2.8.E-01
合計												0.035 mSv/3月間	