

令和 7 年度

第 1 種放射線取扱主任者試験

問題と解答例

実務

解答例は公益社団法人日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会が解答の一案として作成したものです。

・正誤票の内容（問 2 の D の解答群）は修正済みです。

問1 遮蔽に関する次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

Ⅰ 光子による外部被ばくの実効線量 E [Sv]は、次の(1)式で計算することができる。ただし、線源は点状であり、線源、光子が遮蔽体へ垂直に入射する点、及び線量の評価点は一直線上にある。

$$E = B \cdot E_0 \cdot e^{-\mu t} \quad (1)$$

ここで、

B : 実効線量ビルドアップ係数

E_0 : 遮蔽体が無い場合の実効線量[Sv]

μ : 遮蔽体の線減弱係数[cm⁻¹]

t : 遮蔽体の厚さ[cm]

上記(1)式における E_0 は、次の(2)式で計算することができる。

$$E_0 = f \cdot D_0 \quad (2)$$

ここで、

f : 自由空気中の空気カーマを実効線量に換算するための係数[Sv・Gy⁻¹]

D_0 : 遮蔽体が無い場合の自由空気中の空気カーマ[Gy]

f は光子エネルギーの関数であり、告示「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」別表第5に掲げられた値を用いることができる。なお、この換算係数は□A□ジオメトリでの照射に対して計算された値である。 D_0 は、エネルギーフルエンスに空气の□B□係数を乗じることにより求めることができる。

ここで、¹³⁷Cs 密封線源を例にとり、下記の表1に示した条件で E_0 を評価する。ただし、¹³⁷Cs の壊変図式は図1の通りとし、¹³⁷Cs と ^{137m}Ba とは放射平衡の状態にあるとする。また ^{137m}Ba の内部転換係数を11%とする。

表1 評価条件

| 線源強度(MBq) | 線源と評価点との距離(m) | 評価時間(h) | 遮蔽体 |
|-----------|---------------|---------|-----|
| 1.0 | 1.0 | 1.0 | 無し |

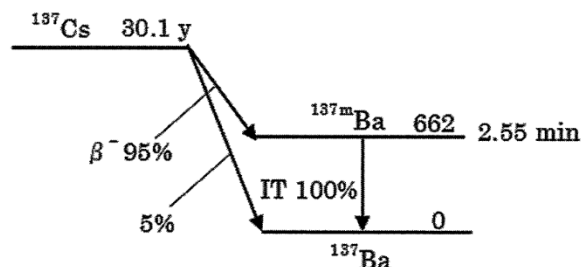


図1 ¹³⁷Csの壊変図式（エネルギーの単位はkeV）

まず、自由空気中の空気カーマ D_0 を次の手順で計算する。評価点の光子フルエンス率を□ア□

$\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ と算出し、この値に線源から放出される γ 線のエネルギーを乗じ、エネルギーフルエンス率を $7.2 \times 10^{-9} \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ と算出する。この値に、この γ 線に対する空気の **B** 係数 $2.94 \times 10^{-3} \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ と評価時間とを乗じて D_0 を算出する。この D_0 に、この γ 線に対する f の値 **イ** $\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$ を乗ずることにより、実効線量 E_0 を **ウ** μSv と算出する。

上記は比較的単純な例であるが、(2)式による E_0 の計算は、エネルギーの異なる種々の光子を放出する線源では複雑となる。そのため実務では、多くの核種について整備・公開されている実効線量率定数を利用して E_0 を評価することが多い。なお、上記 **ウ** は、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ と放射平衡にある ^{137}Cs の実効線量率定数の値と有効数字2桁で一致している。

<Aの解答群>

- 1 等方 (ISO) 2 回転 (ROT) 3 前方-後方 (AP) 4 後方-前方 (PA)
5 側方 (LAT)

<Bの解答群>

- 1 質量減弱 2 線源弱 3 質量エネルギー吸収
4 線エネルギー吸収 5 質量エネルギー転移 6 線エネルギー転移

<Aの解答群>

- 1 1.4×10^2 2 2.8×10^2 3 5.1×10^2 4 1.1×10^3
5 2.4×10^3 6 4.5×10^3 7 8.3×10^3 8 1.7×10^4
9 4.8×10^4 10 6.8×10^4

<イの解答群>

- 1 0.128 2 0.255 3 0.510 4 1.02
5 2.04 6 4.08 7 8.16 8 16.3

<ウの解答群>

- 1 4.6×10^{-3} 2 7.4×10^{-3} 3 1.2×10^{-2} 4 1.9×10^{-2}
5 3.0×10^{-2} 6 4.9×10^{-2} 7 7.8×10^{-2} 8 1.2×10^{-1}
9 2.0×10^{-1} 10 3.1×10^{-1}

〔解答〕 I A-3 B-5 ア-10 イ-4 ウ-7

〔解説〕

A：RI法告示（放射線を放出する同位元素の数量等を定める件）別表第5に記載されている「自由空気中の空気カーマが1グレイである場合の実効線量」は、ICRP Publication 74に基づき、光子に対する実効線量の標準的換算係数（前方-後方 AP ジオメトリ）が採用されている。

B：評価点での空気カーマ D_0 は、光子フルエンスに光子エネルギーと空気の質量エネルギー転移係数を乗じることで算出できる。

ア：光子フルエンス率は次式によって求められる。

$$\phi = \frac{R}{4\pi r^2}$$

ここで、 R は線源から放出される γ 線の数、 r は線源からの距離である。

^{137}Cs の娘核種 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ の励起エネルギーが γ 線として放出される割合 P は、内部転換係数が11%であるから

$$P = \frac{1}{1 + 0.11} \approx 0.9$$

よって、

$$\phi = \frac{1 \times 10^6 \times 0.9 \times 0.95}{4\pi \times 1^2} \approx 6.8 \times 10^4 [\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$$

イ、ウ： f の値は、 ^{137}Cs のガンマ線エネルギー 662 keV に対応する空気カーマから実効線量への換算係数として用いられる値である(告示の別表第5参照)。

$$\begin{aligned} E_0 &= D_0 \cdot f = \{7.2 \times 10^{-9} \times 2.94 \times 10^{-3} \times 3600\} \times 1.02 \\ &\approx 7.8 \times 10^{-8} [\text{Sv}] = 7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv}] \end{aligned}$$

II 前掲(1)式の実効線量ビルドアップ係数 B は、遮蔽体の種類、その厚さ、及び光子エネルギーの関数である。代表的な遮蔽体の種類について、遮蔽計算に用いることのできる B のデータが整備・公開されている。 B のデータでは、遮蔽体の厚さは、一般的に mfp[cm] (mean free path、平均自由行程) を単位として示されている。例えば、ある光子に対する鉛の線減弱係数 μ が 1.2 cm^{-1} のとき、鉛の厚さ 4cm は mfp の エ 倍に相当する。公開されている B のデータから、遮蔽体の厚さ、及び光子エネルギーに関する補間を行うことにより、任意の遮蔽体の厚さ、及び光子エネルギーに対する B を求めることができる。

材料の異なる遮蔽体において、同一光子に対する遮蔽体の厚さが mfp 単位で同じとき、 B の値は遮蔽体材料の実効原子番号 C 。コンプトン散乱の原子断面積は原子番号のおおよそ オ 乗に比例するが、一方、光電効果の原子断面積は原子番号のおおよそ カ 乗に比例するので、実効原子番号が大きいほど相互作用全体に占めるコンプトン散乱の寄与が小さくなるからである。 B も μ も光子エネルギーの関数であるため、エネルギーの異なる種々の光子を放出する線源では計算が複雑となる。一方、代表的な遮蔽体の種類に対し、よく使われる核種の D が整備・公開されている。可能な場合には、 B や μ を用いずに、この D と、(2)式あるいは実効線量率定数から求めた E_0 との積を、遮蔽体がある場合の実効線量 E とすることができる。

<エの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|--------|-------|
| 1 0.16 | 2 0.30 | 3 0.83 | 4 1.3 |
| 5 3.3 | 6 4.8 | 7 5.8 | 8 6.9 |
| 9 8.3 | 10 10 | | |

<C、Dの解答群>

- | | | | |
|------------|------------|-----------|----------|
| 1 と負の相関がある | 2 と正の相関がある | 3 に依存しない | 4 実効線量係数 |
| 5 実効線量換算係数 | 6 実効線量限度 | 7 実効線量透過率 | |

<オ、カの解答群>

- | | | | |
|-------|-----|-----|-----|
| 1 0.5 | 2 1 | 3 2 | 4 3 |
| 5 4 | 6 5 | | |

〔解答〕 II エ-6 C-1 D-7 オ-2 カ-6

〔解説〕

エ：平均自由行程は、線減弱係数の逆数 ($mfp=1/\mu$) で与えられる。

したがって、

$$\frac{4}{1/\mu} = 4 \times 1.2 = 4.8$$

問2 次の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。ただし、放射能の減衰は無視する。

ある事業所で放射性同位元素の保管状況の調査・確認を行ったところ、50 MBq の ^{54}Mn 密封線源が紛失していることに気付いた。法令に則り、その旨を直ちに原子力規制委員会に報告するとともに遅滞なく□A□に届け出た。

^{54}Mn 密封線源からは□ア□ MeV の γ 線が放出されている。そこで、関係者への聞き取り調査の後、数人の従業員に γ 線の検出に適している□B□式サーベイメータを携帯させ、事業所内を探索させることとした。

□B□式サーベイメータによる測定では、線量率が変化しても、すぐに飽和指示値が得られないので、サーベイメータを速く移動し過ぎると線量率の変化を見落とす可能性がある。例えば、時定数3秒で測定したとき、線量率が変化してから3秒後の指示値の変化分は、線量率の変化分の□イ□%である。ただし、 $e=2.7$ とする。

探索中に、正味の飽和指示値 $0.30 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ が示されたとする。このとき、線源は、その場所からおおよそ□ウ□m離れたところにあると推定される。ただし、 ^{54}Mn の1cm線量当量率定数を $0.13 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ とし、また、このサーベイメータは、□ア□ MeV の γ 線に対し、1cm線量当量率が正しく測定されるように校正されているものとする。さらに、線源とサーベイメータの間の物質による吸収と散乱はないと仮定する。

探索の結果、当該線源は管理区域内の壁際に設置された作業機の一番奥の物品の後ろから発見された。聞き取り調査を行ったところ、この作業機を最も長時間使用している従業員（放射線業務従事者）は、線源から最短80cmの距離で1日最長2時間、週に最長5日間作業していると推定された。また、線源が所在不明となっていた期間は最長4週間と推定された。探索に用いたサーベイメータにより線源からの距離80cmにおける線量率を測定し、その値を用いて、この従業員の外部被ばく線量を計算した。その結果、当該従業員の当該事案に係る実効線量の最大値が□エ□mSvと算定された。

計画外の被ばくによる放射線業務従事者の実効線量が□オ□mSvを超えるおそれのあるときは原子力規制委員会への報告義務が発生する。一方、放射性同位元素の所在不明に係る事案では、放射性同位元素の□C□報告の対象となるので、その旨を直ちに原子力規制委員会に報告するとともに、所在不明であった状況及びそれに対する処置を、法令では紛失が判明した日から□D□に報告することを要求されているため、この期日までに報告することとした。なお、委員会に報告すべき「その状況及びそれに対する処置」とは、事象の状況に関する事実関係とその□E□の調査及び再発防止のための対策等である。

<Aの解答群>

1 消防署長

2 警察官

3 市町村長

4 都道府県知事

5 労働基準監督署長

<アの解答群>

1 0.141

2 0.365

3 0.835

4 1.275

5 1.332

<Bの解答群>

1 NaI(Tl)シンチレーション

2 ^3He 比例計数管

3 ZnS(Ag)シンチレーション

4 端窓型 GM 管

5 ガスフロー比例計数管

<イ～エの解答群>

1 0.12

2 0.27

3 0.41

4 0.83

5 1.6

6 2.3

7 4.7

8 6.5

9 12

10 23

11 38

12 46

13 63

14 78

15 195

<オの解答群>

1 2

2 5

3 10

4 20

5 50

<Cの解答群>

1 種類に応じて

2 放射能の量に応じて

3 密封、非密封の形態に応じて

4 使用目的に応じて

5 種類又は量を問わず全てが

<Dの解答群>

1 当日中

2 3 日以内

3 5 日以内

4 1 週間以内

5 10 日以内

6 2 週間以内

7 1 カ月以内

<Eの解答群>

1 責任を負う職員

2 物理的損失

3 経済的損失

4 復旧に要する日数

5 発生原因

[解答] A-2 ア-3 B-1 イ-13 ウ-7 エ-3 オ-2 C-5 D-5 E-5

[解説]

A: RI 法第 31 条の 2 に「許可届出使用者等は、放射線障害が発生するおそれのある事故又は放射線障害が発生した事故その他の原子力規制委員会規則で定める事象が生じた場合には、遅滞なく、原子力規制委員会に報告しなければならない。(一部省略)」とあり、この「その他の原子力規制委員会規則で定める事象」には所在不明が含まれる (RI 法施行規則第 28 条の 3 第 1 項第 1 号)。また、同法第 32 条には「許可届出使用者等は、その所持する放射性同位元素について盗取、所在不明その他の事故が生じたときは、遅滞なく、その旨を警察官又は海上保安官に届け出なければならない。」とある。つまり、放射性同位元素が所在不明となった場合は原子力規制委員会に加え、警察官又は海上保安官へ遅滞なく報告する必要がある。

ア: ^{54}Mn 半減期 312.20 日, γ 線エネルギー 0.835 MeV (放出割合 100.0%)

(アイソトープ手帳 12 版より)

B: γ 線の検出に適したサーベイメータを問う問題であり、以降の問題文からも空間線量測定が可能なものとして、NaI(Tl) シンチレーションが最適であると言える。解答群にある検出器のうち、 ^3He 比例計数管、端窓型 GM 管、ガスフロー比例計数管は気体の検出器で光子の検出効率はあまり高くない。ZnS(Ag)は固体の検出器ではあるが有色 (白) 結晶なので、エネルギー特定には不向きである。かつ、 γ 線に対する感度は極めて低いため、主に α 線の表面汚染密度測定に用

いられている。

イ：サーベイメータ指示値（線量率： \dot{E} ）の変動は $\dot{E} = \dot{E}_{Sat}(1 - e^{-t/\tau})$ で表される。なお、式中の \dot{E}_{Sat} は飽和指示値、 τ は時定数、 t は時間を表している。時定数 3 秒で 3 秒後の \dot{E} を求めればよいので、 $t = \tau = 3[s]$ を代入する。 $\dot{E} = \dot{E}_{Sat}(1 - e^{-3/3}) = \dot{E}_{Sat}(1 - e^{-1}) = \dot{E}_{Sat}(1 - 1/e)$ となり、設問で与えられている $e = 2.7$ を使って式を整理すると $\dot{E} = 0.63 \cdot \dot{E}_{Sat}$ 、つまり、飽和指示値の約 63% となる。なお、 $2 \cdot \tau$ の時点で飽和指示値の 86.5%、 $3 \cdot \tau$ で 95.0%、 $4 \cdot \tau$ で 98.2 パーセントになる。

ウ： ^{54}Mn の 1cm 線量当量率定数 $0.13 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ より 50 MBq の ^{54}Mn 線源から 1m の距離の 1cm 線量当量率は $6.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ と推計される。線源捜索中に指示値が $0.3 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ を示したとあり、線源とサーベイメータの距離を $d\text{m}$ とした場合、距離逆二乗則より $0.3 = 6.5 \times 1/d^2$ が成り立つ。つまり、 $d = 4.65\text{m}$ となる。

エ：設問より被ばくした時間は最大で 40 時間（2 時間/日 \times 5 日/週 \times 4 週）、線源からの距離が 0.8m（80cm）、 ^{54}Mn の数量 50MBq、 ^{54}Mn の 1cm 線量当量率定数 $0.13 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ をつかって被ばく量を計算すると、

$$0.13 \times 50 \times \frac{1}{0.8^2} \cdot 40 = 406.25 \mu\text{Sv} = 0.41 \text{mSv}$$

となる。

オ：RI 法施行規則第 28 条の 3 に「許可届出使用者（表示付認証機器使用者を含む。）、届出販売業者、届出賃貸業者及び許可廃棄業者は、次の各号のいずれかに該当するときは、その旨を直ちに、その状況及びそれに対する処置を 10 日以内に原子力規制委員会に報告しなければならない。」とある。この「各号のいずれかに該当するとき」として同条同項第 7 号に「(前略) 計画外の被ばくがあったときであって、当該被ばくに係る実効線量が放射線業務従事者にあつては 5 mSv、放射線業務従事者以外の者にあつては 0.5 mSv を超え、又は超えるおそれがあるとき。」とある。つまり、5 mSv 以上（従事者以外は 0.5 mSv 以上）の計画外被ばくのおそれがある場合は、その旨を『直ちに』原子力規制委員会へ報告し、加えて、対処方法等に関しては『10 日以内』に報告する必要がある。

C、D：所在不明が発生した場合も同様に原子力規制委員会への報告が必要となる。前出の RI 法施行規則第 28 条の 3 第 1 項第 1 号に「放射性同位元素の盗取又は所在不明が生じたとき。」とある。ただし、ここには種類、数量、形態、目的等の条件はない。放射性同位元素の種類又は量を問わず、盗取又は所在不明となった場合、その旨を原子力規制委員会へ直ちに報告し、かつ対処方法は 10 日以内に報告する必要がある。

E：「放射性同位元素等の規制に関する法律第 31 条の 2 の規定に基づく放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則第 28 条の 3 の規定による原子力規制委員会への事故等の報告に関する解釈（原規放発第 19072415 号）」の「II 事故報告基準に関する運用について」には『RI 法施行規則第 28 条の 3 柱書において、委員会に対して報告すべき事項として規定されている「その状況及びそれに対する処置」とは、事象の状況に関する事実関係とその発生原因の調査及び再発防止のための対策をいう。』とある。

問3 ^{51}Cr と ^{126}I を含む溶液を用いて行った化学分離実験に関する次の文章の [] の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

表 ^{51}Cr と ^{126}I の壊変データ

| 核種 | 半減期 | 壊変形式 | 主な光子エネルギー（放出割合） |
|------------------|-----|---------------------------|-----------------------------|
| ^{51}Cr | 28日 | EC | 320 keV (9.9%) |
| ^{126}I | 13日 | β^- 、 β^+ 、EC | 389 keV (36%)、666 keV (33%) |

密封されていない放射性同位元素(非密封 RI)を用いる実験では、外部被ばくとともに内部被ばくにも注意を要する。外部被ばくを低減するために [A] ブロックによる遮蔽体を設置した。また、コールドランを実施して作業方法や手順を改善し、さらに、操作に習熟することで [B] を短くして被ばく線量を低減させた。さらに、化学操作の途中で揮発する可能性のある ^{126}I による内部被ばくの防護が必要である。そのために、作業者は [C] 製マスクを着用し、気体状ヨウ素が排気設備に直接放出されない設備を付帯したフード内で実験を行った。

実験で発生した非密封 RI を含む無機液体ならびに有機液体はそれぞれ所定の容器に回収した。液体が入っていた器具は少量の水または有機溶媒で複数回すすぎ、この洗浄液も容器に回収した。複数の液体を混合すると化学反応が生じることがあるので、液体の [D] や非密封 RI の [E] を十分理解して行う必要がある。特に ^{126}I の場合は、予期せぬ化学反応で気体状ヨウ素が発生しないようにするために、 ^{126}I は [F] の [E] に変えて固体汚染物として処理した。器具は排水設備に連結した流しで洗浄した。

実験終了後、計数率表示機能付き [G] 式サーベイメータを用いてフードや使用器具等の汚染検査を行ったところ、フード前の床でほぼ点状の汚染(正味計数率が 80 cps)が発見された。汚染箇所印をつけた後、表面汚染密度を求めるため、汚染箇所を含む 10 cm 四方内をスミアろ紙で拭いた。あらためてサーベイメータで汚染箇所を測定したところ、正味計数率が 40 cps であったため、湿式除染を行った。最初に水、つづいて中性洗剤で除染したが不十分であった。そこで [H] を用いたところ除染できた。

スミアろ紙で拭く前の核種ごとの表面汚染密度を求めるため同日に前述のスミアろ紙を [I] 検出器で測定した。その結果、 ^{51}Cr の γ 線のみが検出され、その全吸収ピークの正味計数率は 60 cps であった。以上より、表面汚染は ^{51}Cr のみであったことが判明し、その表面汚染密度は [ア] $\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ と評価された。ただし、検出器の 320 keV の γ 線に対するピーク効率率は 10% であった。

<A~C の解答群>

- | | | | |
|---------|----------|-------------|----------|
| 1 アクリル | 2 パラフィン | 3 アルミニウム | 4 鉛 |
| 5 作業時間 | 6 線源との距離 | 7 メンブレンフィルタ | 8 活性炭素繊維 |
| 9 ガラス繊維 | 10 不織布 | | |

<D の解答群>

- | | | | |
|------|-------|------|-------|
| 1 粘度 | 2 凝固点 | 3 液性 | 4 溶解度 |
|------|-------|------|-------|

<E、F の解答群>

- | | | | |
|-------|-------|-------|--------|
| 1 溶解度 | 2 半減期 | 3 化学形 | 4 核的特性 |
|-------|-------|-------|--------|

5 ヨウ化銀 6 ヨウ化アンモニウム 7 ヨウ化カリウム

<G～Iの解答群>

| | | |
|--------------|-------------------|-------------------|
| 1 GM管 | 2 NaI(Tl)シンチレーション | 3 ZnS(Ag)シンチレーション |
| 4 液体シンチレーション | 5 Ge半導体 | 6 Si半導体 |
| 7 マスキング剤 | 8 中和剤 | 9 キレート形成剤 |
| 10 沈殿剤 | | |

<アの解答群>

| | | | | |
|-------|------|------|-------|----------|
| 1 1.2 | 2 12 | 3 61 | 4 120 | 5 12,000 |
|-------|------|------|-------|----------|

[解答] A-4 B-5 C-8 D-3 E-3 F-5 G-2 H-9 I-5 ア-4

[解説]

C：¹²⁶Iの吸入摂取の防護のためであるため活性炭繊維となる。

D：¹²⁶Iの様に気化しやすいものに対しては、複数の化学物質を混合する場合の注意点で、特に液性に注意が必要となる。

F：化学反応で気体状ヨウ素が発生しないヨウ化銀となる。

ヨウ化銀：空気や光によるヨウ素の遊離がない。

ヨウ化アンモニウム：空気や光にさらすとヨウ素が遊離する。

ヨウ化カリウム：光に当たると分解してヨウ素が遊離する。

G：⁵¹Crは、 γ 線を放出し¹²⁶Iは、 β 線及び γ 線を放出する。

下段に⁵¹Cr(γ 線エネルギー320keV)による汚染と記述があるため、NaI(Tl)シンチレーションを選択する。GM管でも測定可能だが、低エネルギー側(300～400 keV 未満)では、光子と管内ガスの直接的な相互作用(電離)が支配的で、検出効率が低い。

H：⁵¹Crの除染には、キレート剤を用いてCrイオンと結合して安定なキレート化合物を形成させて分離・除去させる。¹²⁶Iの除染には、チオ硫酸ナトリウムを用いてヨウ素をヨウ化物イオンに変えることで、分離・除去させる。

I：ここでは、⁵¹Cr(320 keV)か¹²⁶I(389 keV, 666 keV)の汚染かの判別を行う。この場合、 γ 線スペクトロメータを用いて分析することになるため、 γ 線の分解能が高い Ge 半導体検出器が適している。

ア：

① スミアろ紙の拭き取り効率

フードの前の汚染：80 cps

スミアろ紙で拭き取り後の汚染：40 cps

$$(80 \text{ cps} - 40 \text{ cps}) / 80 \text{ cps} = 0.5$$

② スミアろ紙の⁵¹Crの放射エネルギー

全吸収ピーク：60 cps

測定器のピーク効率：10 %

⁵¹Crの320keVの放出割合：9.9 %

$$60 / (10/100) / (9.9/100) = 6061 \text{ Bq}$$

③ 表面汚染密度

拭き取り範囲：10 cm 四方

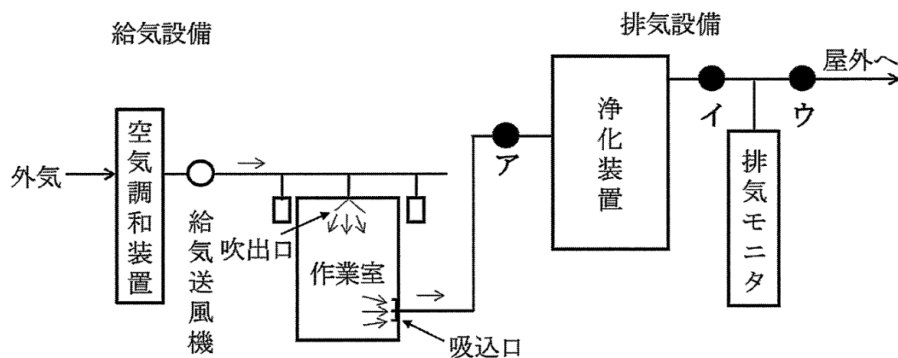
スミアろ紙の拭き取り効率：0.5

スミアろ紙の ^{51}Cr の放射能量：6061 Bq

$6061 \text{ Bq} / 0.5 / 100 \text{ cm}^2 = 121 \text{ Bq/cm}^2$

問4 次の文章の の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

下の図に、ある非密封放射性同位元素を取扱う放射線取扱施設の給・排気設備（空調設備）を示す。



外気は、空気調和装置により^{じんあい}塵埃除去と温湿度調整がなされ、作業室上部の吹出口から吹き出る。室内に入った空気は吸込口やフードから排出され排気設備により浄化される。

作業室は、室内で飛散した放射性同位元素の A の平均濃度が B を超えないように換気する。また、作業室内は、給気量、排気量を調整し、常に外気圧に対し C の状態を維持しなければならない。

排気設備において、排気送風機は図の D に設置されている。この放射線取扱施設では排気設備の浄化装置に、① E フィルタ、②HEPA フィルタ及び③放射性ヨウ素を捕集対象としたフィルタの3種が設置されている。①は大きな塵埃を除去し、②は直径 F の粒子を99.97%以上除去する性能を有する。③は捕集材として G が広く利用され、その H は、吸着層の厚さに依存する。

①、②、③には、フィルタの破損によるリークや I の度合いをチェックするための差圧計が取り付けられている。①、②においては、その数値が高くなる程 I の度合いが進んでいることを示す。浄化装置に用いられたフィルタは J として取り扱う。

<A~Dの解答群>

- | | | | |
|------------|-----------|-----------|----------|
| 1 8時間 | 2 1週間 | 3 1月間 | 4 3月間 |
| 5 ワーキングレベル | 6 空気中濃度限度 | 7 排気中濃度限度 | 8 最大許容濃度 |
| 9 負圧 | 10 同圧 | 11 正圧 | 12 静圧 |
| 13 ア | 14 イ | 15 ウ | |

<Eの解答群>

1 ベント 2 ハイパス 3 ローパス 4 メンブレン 5 プレ

<F の解答群>

| | | | |
|--------|--------|--------|-------|
| 1 0.01 | 2 0.03 | 3 0.05 | 4 0.1 |
| 5 0.3 | 6 0.5 | 7 1 | 8 3 |
| 9 5 | 10 10 | 11 30 | 12 50 |

<G、H の解答群>

| | | |
|-------------|-------|---------|
| 1 ヨウ化アルミニウム | 2 酸化鉛 | 3 シリカゲル |
| 4 ゼオライト | 5 活性炭 | 6 千分率 |
| 7 脱離率 | 8 転換率 | 9 捕集効率 |

<I、J の解答群>

| | | |
|-------------|----------|-------------|
| 1 目づまり | 2 温度 | 3 湿度 |
| 4 臭気 | 5 産業廃棄物 | 6 可燃性の一般廃棄物 |
| 7 難燃性の一般廃棄物 | 8 放射性廃棄物 | |

〔解答〕 A-2 B-6 C-9 D-14 E-5 F-5 G-5 H-9 I-1 J-8

〔解説〕

A、B：作業室の空气中濃度は、1週間の平均濃度は空气中濃度限度以下とする。排気中濃度限度では、3月間の平均濃度限度以下とする。

RI 法施行規則（廃棄施設の基準）第14条の11第1項第4号イ

C：負圧することで、飛散した放射性同位元素を作業室外へ出さない。

D：浄化装置の後段に排気送付機を設置する。

E：大きな粒子を捕集するプレフィルタ、さらに小さな粒子を捕集する HEPA フィルタの順で設置する。

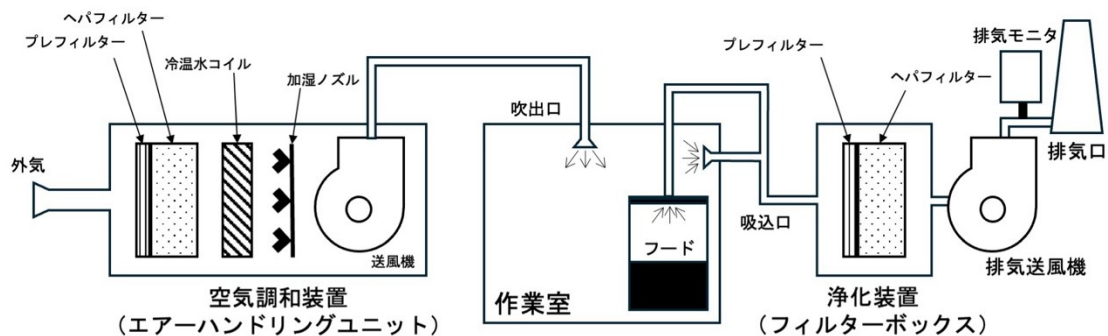
F：HEPA フィルタは JIS 規格で、 $0.3\ \mu\text{m}$ の粒子を 99.97% 以上捕集する性能が定められている。

G、H：放射性ヨウ素は、活性炭に捕集されやすく、吸着層が厚いと捕集効率が上がる。

I：差圧計により、フィルタの目詰まりを確認する。

J：排気系フィルタは、飛散した放射線物質を捕集するため、放射性廃棄物として処理する。

参考例：放射線施設の空調の仕組み



問5 次の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

放射線被ばくによる線量を評価するために特別な線量計測が開発されてきた。放射線取扱施設における作業員の放射線防護に用いる量は、□A□と呼ばれ、□B□の発生を容認できるレベルに低く保ち、かつ□C□を回避するための線量限度を指定するために用いられている。しかし、この□A□は、直接測定することができない。そのため、作業員の被ばくや作業する環境を管理するための線量計測として□D□が用いられている。

□A□である臓器・組織 T の等価線量 H_T は、放射線の種類 R ごとに、放射線加重係数 W_R と臓器・組織 T の平均吸収線量 $D_{T,R}$ を掛け合わせ、放射線の種類すべてについて合計した値として、次式のように定義されている。

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R}$$

同じく□A□である実効線量 E は、組織 T の組織加重係数 W_T を用いて、臓器・組織の等価線量の加重和として、次式のように定義される。

$$E = \sum_T W_T H_T$$

ここで、ある放射性物質の摂取により、肝臓と骨髄が限定的に吸収線量を与えられた場合の等価線量及び実効線量を計算してみよう。肝臓の平均吸収線量として α 線で 1 mGy、 γ 線で 5 mGy、骨髄の平均吸収線量として α 線で 5 mGy の被ばくがあったとする。なお、それ以外の組織・臓器の被ばくは無視できるものとする。このとき、肝臓の等価線量は、□ア□ mSv、実効線量は□イ□ mSv である。ただし、放射線加重係数及び組織加重係数は ICRP2007 年勧告の値を用いるものとする。

□D□は、□E□によって定義されており、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量がある。周辺線量当量は放射線場の実効線量に対応する□D□であり、すべての放射線が同一方向からくる放射線場に□E□球を置いたとき、球の表面から、入射方向の直径軸上で□ウ□ mm の深さにおける線量当量として定義されている。また、方向性線量当量は、眼の水晶体の等価線量については深さ□エ□ mm が勧告されている。これらの外部被ばくを想定した線量評価に対して、内部被ばくについては、□D□は定義されていない。内部被ばくについては、体内に取り込まれた放射性物質の摂取量から線量を推定する。摂取量の推定には、ダストモニタなどにより測定した空气中放射能濃度が用いられる。また、尿や便などの排泄物中の放射能の測定値やホールボディカウンタなどの直接測定値を用いて推定する場合もある。この摂取量から、摂取後 50 年間（幼児や小児については 70 歳まで）の□F□が評価される。

<A~D の解答群>

- | | | | |
|---------|-------|---------------|---------|
| 1 実用量 | 2 損傷量 | 3 防護量 | 4 物理量 |
| 5 空気カーマ | 6 細胞死 | 7 組織反応（確定的影響） | 8 確率的影響 |

<ア~エの解答群>

- | | | | | |
|------|------|------|------|-------|
| 1 1 | 2 3 | 3 5 | 4 10 | 5 13 |
| 6 15 | 7 20 | 8 23 | 9 25 | 10 30 |

11 50 12 70 13 100 14 300 15 1,000

<Eの解答群>

1 ICRP 2 IAEA 3 ICRU 4 MIRD 5 OECD
6 UNSCEAR

<Fの解答群>

1 線量拘束値 2 平均等価線量 3 預託実効線量 4 集団実効線量

[解答] A-3 B-8 C-7 D-1 ア-9 イ-5 ウ-4 エ-2 E-3 F-3

[解説]

ア: α 線、 γ 線の放射線加重係数は 20、1 であるので、肝臓の等価線量は

$$1 \times 20 + 5 \times 1 = 25 \text{ [mSv]}$$

イ: 肝臓、骨髄の組織加重係数は 0.04、0.12 であるので、実効線量は

$$25 \times 0.04 + 5 \times 20 \times 0.12 = 13 \text{ [mSv]}$$

E、ウ、エ: ICRU (国際放射線単位測定委員会) は放射線、放射能、および放射線と物質との相互作用に関する量と単位の明確化、測定技術の標準化を図るための国際組織。

ICRU 球は直径 30 cm の組織等価物質からなる球。この球の表面から 10 mm, 3 mm, 70 μ m の深さにおける線量当量が導入された。10 mm 線量当量は実効線量および眼、皮膚を除く等価線量、3 mm 線量当量は眼の等価線量、70 μ m 線量当量は皮膚の等価線量に対応する。

F: 預託実効線量は放射性物質を一回だけ摂取した場合に、それ以後の生涯 (大人は 50 年、乳幼児や子供は 70 歳) にどれだけの放射線を被ばくすることになるかを推定した被ばく線量。

問 6 次の I、II の文章の の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを 1 つだけ選べ。

I ^{131}I は核分裂生成物の一つであり、半減期 ア で β^- 壊変する。 ^{131}I は β 線を放出した後、直ちに主に イ MeV の γ 線を放出して安定な ^{131}Xe になる一方、一部は ^{131}Xe の核異性体である $^{131\text{m}}\text{Xe}$ を経て ^{131}Xe になる。

放射性ヨウ素は体内に摂取されると血流を通し、摂取後 24 時間以内におおよそ 10~30%が

A に取り込まれ、残りは尿として排泄される。 A に集積した ^{131}I の放射能は、体外から

B を計測することによって評価できる。ある作業員 (成人) が ^{131}I を扱う作業を行った後、

ア が経過してから A モニタで計測したところ、 A に 600 Bq の ^{131}I が認められたとす

る。ここで、この作業員が将来にわたって受ける実効線量を概算してみよう。摂取した ^{131}I のうち

30%が摂取直後に A に取り込まれたとし、また摂取してから計測までの間に代謝による A

内の ^{131}I の減少は無視できるとすると、この作業員が摂取した ^{131}I の量は ウ Bq と見積もられ

る。そして線源となる領域、並びに標的となる組織が共に A のみであると仮定すると、摂取後

50 年間にこの作業員が受ける実効線量は エ mSv と算出される。なお、 ^{131}I の摂取量[Bq]から摂

取後 50 年間に A が受ける積算吸収線量[mGy]への変換係数は $4.2 \times 10^{-4} \text{ mGy} \cdot \text{Bq}^{-1}$ とし、また

A の組織加重係数は、ICRP2007 年勧告の値とする。

<アの解答群>

- 1 6.01 時間 2 8.03 日 3 11.8 日 4 32.0 日
5 73.8 日 6 2.06 年 7 5.27 年 8 30.1 年

<イの解答群>

- 1 0.141 2 0.164 3 0.198 4 0.317 5 0.365
6 0.605 7 0.662 8 0.796 9 1.17 10 1.33

<A、Bの解答群>

- 1 眼の水晶体 2 甲状腺 3 筋肉 4 骨表面
5 骨髄 6 結腸 7 肺 8 胃
9 β 線 10 γ 線 11 制動X線 12 特性X線

<ウの解答群>

- 1 60 2 200 3 400 4 600 5 2,000
6 4,000 7 6,000 8 20,000 9 40,000

<エの解答群>

- 1 0.010 2 0.025 3 0.034 4 0.067 5 0.084
6 1.7 7 6.3 8 21 9 42

〔解答〕 I アー2 イー5 Aー2 Bー10 ウー6 エー4

〔解説〕

ア、イ： ^{131}I は8.03日の物理的半減期で β^- 壊変し、 β 線と γ 線を放出する。 β 線の最大エネルギーは0.606 MeVであり、主たる γ 線の主なエネルギーは0.365 MeVである（表参照）。

表

| 核種 | 半減期 | 壊変形式 | おもな β 線のエネルギー (MeV) と放出割合 | おもな光子のエネルギー (MeV) と放出割合 |
|------------------|---------|-----------|---|--|
| ^{131}I | 8.0252d | β^- | 0.248－ 2.1% 0.334－ 7.2% 0.606－ 89.5% 他 | 0.0802－ 2.6% 0.284－ 6.1% 0.365－ 81.7% 0.637－ 7.2% 0.723－ 1.8% 他 |

(アイソトープ手帳12版)

A：甲状腺は、体内で必要とする甲状腺ホルモンを合成するためにヨウ素を取り込んでおり、放射性のヨウ素と区別なく取り込まれる。

B： ^{131}I の β 線は飛程が短い（5mm程度）ため体外計測が難しいことから、 γ 線計測が有効である。

ウ：甲状腺モニタでの計測は半減期後であるため、摂取時に甲状腺に取り込まれた ^{131}I の量 N_0 は、次式によって求められる。

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

$N(t)$ ：600 (Bq)

$T: 8.03$ (日)

$t: 8.03$ (日)

これらを代入し、

$$600 = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{8.03}{8.03}}$$
$$N_0 = 1200 \text{ [Bq]}$$

となる。

一方、甲状腺に取り込まれたヨウ素は摂取量の30%であることから、この作業者が摂取した ^{131}I の量は、

$$1200 \text{ [Bq]} \div 30 \text{ [\%]} = 4000 \text{ [Bq]}$$

となる。

エ：実効線量(H_{eff})は次式によって求められる。

$$\text{実効線量}(H_{\text{eff}}) = \sum (\text{組織加重係数}(W_T) \times \text{等価線量}(H_T))$$

式中の等価線量(H_T)は次式によって求められる。

$$\text{等価線量}(H_T) = \text{吸収線量}(D) \times \text{放射線加重係数}(w_R)$$

$W_T: 0.04$ (甲状腺の場合)

$$D: 4000 \text{ [Bq]} \times 4.2 \times 10^{-4} \text{ [mGy} \cdot \text{Bq}^{-1}]$$

$w_R: 1$ (γ 線の場合)

これらを代入し、

$$H_{\text{eff}} = 0.04 \times (4000 \times 4.2 \times 10^{-4} \text{ [mGy} \cdot \text{Bq}^{-1}]) \times 1$$
$$= 0.0672 \text{ [mSv]}$$

よって、作業者が摂取後50年間に受ける実効線量は、0.067 mSvとなる。

II に集積した ^{131}I は、数年から数十年後に がんを発症するリスクを高めるが、そのリスクは において特に高い。

を主成分とする安定ヨウ素剤を服用すると、 へのヨウ素の取り込みが一時的に抑制されること等により、 への放射性ヨウ素の集積が低下する。安定ヨウ素剤は、 服用することが最も効果的であり望ましい。成人では、放射性ヨウ素の摂取と がんの間に関連性はないと報告されていることから、40歳以上であれば安定ヨウ素剤を服用する意味はあまりないとされている。しかし、40歳以上であっても においては、胎児および乳児の内部被ばくを低減する上で有効と考えられる。

<C、Dの解答群>

- | | | | |
|---------|-----------|------------|------------|
| 1 高齢者 | 2 成人 | 3 致死率 | 4 子供 |
| 5 日本人 | 6 臭化リチウム | 7 臭化ナトリウム | 8 臭化カリウム |
| 9 ヨウ化水素 | 10 ヨウ化メチル | 11 ヨウ化カリウム | 12 ヨウ化第一水銀 |

<E、Fの解答群>

- | | |
|------------------|-----------------------|
| 1 放射性ヨウ素を摂取する直前に | 2 放射性ヨウ素の摂取確認後速やかに |
| 3 日常的に | 4 放射性ヨウ素の摂取がなくなった後繰返し |

(令和7年度)第1種実務

- | | |
|------------------|------------|
| 5 製乳業者と調乳製品取扱い業者 | 6 助産師と保育士 |
| 7 妊婦と授乳婦 | 8 産科医師と看護師 |
| 9 介護士と保健福祉士 | |

〔解答〕Ⅱ C-4 D-11 E-1 F-7

〔解説〕

C：20歳以下の若年者においては、放射線被ばくで甲状腺がんのリスクが上がることが報告されている。しかし成人では放射線被ばくで甲状腺がんが増えることはないとされている。

D：安定ヨウ素剤は、放射性でないヨウ素を内服用に製剤化したもので、主成分はヨウ化カリウムである。

E：安定ヨウ素剤の服用時期と効果については、「放射性ヨウ素にばく露する24時間前」に服用した場合は90%の抑制効果があり、「ばく露した8時間後」では40%、「ばく露した16時間以降」ではその効果はほとんどないとされている。

F：令和元年7月の原子力災害対策指針改正（安定ヨウ素剤の配布・服用にあたって：原子力規制庁）において、事前配布の対象者は、原則として40歳未満の者とすることが適当であるとされた。しかし、40歳以上でも、妊婦、授乳婦、育児希望の女性は配布対象であり、また、40歳以上の方であっても、希望者には配布することができるとされた。