

令和5年度

## 第2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12 Iの7行目の誤記）は修正済みです。

(令和5年度) 第2種実務

次の問1から問10について、5つの選択肢のうち適切な答えを1つだけ選び、また、問11、問12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つだけ選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

---

問1 国際放射線防護委員会(ICRP)が勧告する線量限度に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 職業被ばくと公衆被ばくで値が異なる。
- B 小児と成人で値が異なる。
- C 医療被ばくには適用されない。
- D 計画被ばく状況、緊急時被ばく状況、現存被ばく状況のいずれにも適用される。

1 ABDのみ    2 ABのみ    3 ACのみ    4 CDのみ    5 BCDのみ

〔解答〕 3

〔解説〕

A：正 ICRPの2007年勧告では、職業被ばくは5年で100 mSvかつ特定の1年間に50 mSvを超えないとされており、公衆被ばくは年間1 mSvと定められている。

B：誤 成人と同じ値が適用される。

C：正 医療被ばくに線量限度は適応されず、診断参考レベルが参考にされる。

D：誤 線量限度は計画被ばく状況に適用される。

問2 A～Cの核種について、1 cm線量当量率定数の大きい方から順に並んでいるものは、次のうちどれか。

A  $^{60}\text{Co}$

B  $^{192}\text{Ir}$

C  $^{241}\text{Am}$

1 A>B>C

2 A>C>B

3 B>C>A

4 B>A>C

5 C>B>A

〔解答〕 1

〔解説〕 各核種の1 cm線量当量率定数 [ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ] は、以下の通りである。

A： $^{60}\text{Co}$  0.347

B： $^{192}\text{Ir}$  0.138

C： $^{241}\text{Am}$  0.00524

以上より1 cm線量当量率定数の大きい順は、A>B>Cとなり、1が正解となる。

問3  $^{60}\text{Co}$  密封線源の放射能が 100 MBq のとき、この線源から 0.50 m 離れた位置の  $\gamma$  線フルエンス率 [ $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ] として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、線源自身及び空気による  $\gamma$  線の吸収・散乱は無視し得るものとする。

- 1  $6.4 \times 10^7$     2  $1.3 \times 10^8$     3  $2.5 \times 10^8$     4  $4.9 \times 10^8$     5  $9.8 \times 10^8$

〔解答〕 1

〔解説〕 線源から  $r$  [m] 離れた位置におけるフルエンス率 [ $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ] は、放出される  $\gamma$  線の数を  $Q$  [ $\text{s}^{-1}$ ] とすると、 $\frac{Q}{4\pi r^2}$  で与えられる。

$^{60}\text{Co}$  線源は、1 壊変あたり 2 本の  $\gamma$  線を放出するので、それぞれの値を代入すると、

$$\frac{10^8 \times 2}{4 \times \pi \times 0.5^2} = 6.36 \times 10^7 \cong 6.4 \times 10^7 \text{ [m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

となり、1 が正解となる。

問4 事業所の境界におけるサーベイメータによる環境放射線モニタリングに関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 主な目的は、事業所内の従業員を防護することである。  
B 測定値は、降雨の影響を受ける可能性がある。  
C NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータは、この用途に適した機器である。  
D 時定数は、最も小さい値に設定する。

- 1 A と C    2 A と D    3 B と C    4 B と D    5 C と D

〔解答〕 3

〔解説〕

A：誤 事業所の境界における環境放射線モニタリングは、公衆への被ばくを防護するためである。

B：正 大気中に存在する放射性物質（ラドンの娘核種）が、降雨により降下してくる可能性がある。

C：正 NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータは感度がよく、環境レベルから 30  $\mu\text{Sv/h}$  程度の  $\gamma$  線の空間線量測定に適している。

D：誤 サーベイメータを検査対象に近づけたあと、時定数の 2～3 倍の時間が経過してから表示を読むことが推奨される。典型的なサーベイメータでは、3～30 秒程度である。一方、汚染検査ではサーベイメータの応答性が重要となるために、時定数を短くする。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱い 現場必備！教育訓練テキスト、  
日本アイソトープ協会、丸善、2020、26 ページ

問5 A～C のシンチレータを用いた  $\gamma$  線検出器について、エネルギー分解能が高い（良好な）順に並んでいるものは、次のうちどれか。

- A  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO)

B  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$

C  $\text{NaI}(\text{Tl})$

1  $A > B > C$

2  $A > C > B$

3  $C > B > A$

4  $B > A > C$

5  $B > C > A$

〔解答〕 5

〔解説〕

A :  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  (BGO) は Bi の原子番号が 83 と非常に高いため、光電効果の確率が高く、小さなサイズのものでも  $\gamma$  線に対する検出効率が高い。しかし、 $\text{NaI}(\text{Tl})$  に比べエネルギー分解能は良くない。

B :  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  は  $\text{NaI}(\text{Tl})$  よりも高いエネルギー分解能をもち、高い検出効率を有している。しかし、 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  の結晶中には放射性核種を含有しているため、自己放射能に起因するバックグラウンドが存在するデメリットがある。

C :  $\text{NaI}(\text{Tl})$  は、Ge 半導体検出器と比べると安価で検出効率も高いが、エネルギー分解能は劣る。以上よりエネルギー分解能が高い(良好な)順は  $B > C > A$  となる。

問 6  $\text{NaI}(\text{Tl})$ シンチレーション式サーベイメータに関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A 光電子増倍管を使用する。

B エネルギー補償回路を用いることにより、線量応答を改善できる。

C 冷却して使用する。

D Tl を添加することにより、シンチレーション効率を高めている。

1 ABC のみ    2 ABD のみ    3 ACD のみ    4 BCD のみ    5 ABCD 全て

〔解答〕 2

〔解説〕  $\text{NaI}(\text{Tl})$ シンチレーション式サーベイメータは、放射線がシンチレータに入射して発する微弱な光を光電子増倍管で検出し、電気信号に変換することで放射線を計測する。また、Tl を微量添加することで  $\text{NaI}$  の結晶構造を一部変化させ、禁制帯内部に新たなエネルギー準位を作り出すことでシンチレーション効率を高めている。高感度で低線量率を安定して測定できるが、エネルギー特性が悪いためエネルギー補償回路を用いてエネルギー特性を改善している。

ヨウ化ナトリウムは潮解性があり金属ケースに封入されている。使用に際しては Ge 半導体検出器のように冷却する必要はない。

問7 個人線量計に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 固体飛跡検出器では、エッチング処理に、 $\text{HNO}_3$ 等の酸性溶液が用いられる。
- B TLDでは、線量の読み取りに失敗すると、二度と読み取ることはできない。
- C OSL線量計では、初期化に、加熱処理が行われる。
- D 蛍光ガラス線量計では、線量の読み取りに、紫外線が用いられる。

1 ACDのみ    2 ABのみ    3 ACのみ    4 BDのみ    5 BCDのみ

〔解答〕4

〔解説〕

- A：誤 固体飛跡検出器のエッチング処理には、KOH溶液やNaOH溶液のようなアルカリ溶液が用いられる。
- B：正 TLDは入射放射線のエネルギーにより素子内に捕獲電荷を蓄積する。蓄積された捕獲電荷は熱励起によりルミネッセンス（発光）を発生させる。ルミネッセンスの強さから放射線によるエネルギー付与を評価する。このため、一度読み取りを行うと再測定ができない。素子を再度使用するためにはアニーリング処理（加熱処理）を行う必要がある。
- C：誤 OSL線量計はTLDと同様に入射放射線からのエネルギー付与により捕獲電荷を蓄積する。捕獲電荷は光励起によりルミネッセンスを発生させる。OSL素子を再度使用するための初期化には青色の光が用いられ、線量の読み取りには緑色の光が用いられる。
- D：正 蛍光ガラス線量計に放射線が照射されると、多くの電子と正孔が生成し、電子及び正孔の一部はガラス構造中に捕獲されて安定な蛍光中心ができる。これに紫外線を当てると蛍光が生じる。この光は放射線ルミネッセンスと言われ、線量に比例するので測定に利用される。

問8 個人線量計に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 胸部と腹部は防護衣の内側に付ける。
- B 頸部は防護衣の外側に付ける。
- C 測定値からバックグラウンドの寄与分を差し引く。
- D 手指に付けた線量計では、 $70\ \mu\text{m}$ 線量当量を測定する。

1 ACDのみ    2 ABのみ    3 BCのみ    4 Dのみ    5 ABCDすべて

〔解答〕5

〔解説〕個人線量計は均等被ばくの場合、男性は胸部、女性は腹部に装着する。防護衣などを使用し不均等に被ばくをする場合には、胸部または腹部に装着した線量計の上に防護衣を着て、防護衣の外側の頸部（最も多くの放射線を受ける恐れのある部位）にも線量計を装着する。また手指の方が、体幹部よりも多くの放射線を受ける恐れのある場合には、リングバッチ等の線量計を装着し、皮膚の線量当量である $70\ \mu\text{m}$ 線量当量を測定する。蛍光ガラス線量計やOSL線量計などは感度が高いため、バックグラウンドの補正を行う必要がある。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱い 現場必備！教育訓練テキスト、  
日本アイソトープ協会、丸善、2020、31ページ

問9 放射線測定器による測定で計数値が250,000カウントであったとき、計数の真の値が249,500カウントから250,500カウントの範囲に存在する確率[%]に最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 50.0    2 68.3    3 90.0    4 95.0    5 99.7

〔解答〕2

〔解説〕放射線のカウントはポアソン分布に従うとされていることから、ポアソン分布の分散は平均に等しい。このため問題の計数値の標準偏差 $\sigma$ は $\sqrt{250,000} = 500$ となる。

計数値が十分に大きいため、中心極限定理が成立するとして正規分布として近似ができる。

計数の真の値が $250,000 \pm 500$ カウントの範囲に存在する確率は、 $\pm 1\sigma$ の間に存在する確率に等しいため68.3%となり、2が正解となる。

問10 バックグラウンドに関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 端窓型 GM 管式サーベイメータでは、一次宇宙線の入射が主な原因である。  
B 液体シンチレーションカウンタでは、基本的に、2つの光電子増倍管の同時計数を得ることで低減を図っている。  
C Ge 検出器による  $\gamma$  線の全吸収ピークでは、より高いエネルギーの  $\gamma$  線のコンプトン効果が主な原因である。  
D U、Th の同位体の系列核種及び  $^{40}\text{K}$  は、鉄筋コンクリート建屋内の管理区域でのバックグラウンド放射線の原因となる。

- 1 ABC のみ    2 ABD のみ    3 ACD のみ    4 BCD のみ    5 ABCD すべて

〔解答〕4

〔解説〕

A：誤 一次宇宙線は地球の大気と相互作用し、二次宇宙線を発生させる。地上には二次宇宙線が到達する。

B：正 液体シンチレーションカウンタでは、2本の光電子増倍管が同時にシグナルを検出した際に計数として記録される。1本だけの光電子増倍管がシグナルを検出した場合には、ノイズとして扱われる。これにより、光電子増倍管のノイズに起因するバックグラウンドを低減している。

C：正 全吸収ピークは、検出器に入射した光子エネルギーが全て吸収された場合に生じるピークで、光電効果、コンプトン効果、電子対生成の全てが関わってくる。

多くの場合、全吸収ピークの下には、それより高いエネルギーの  $\gamma$  線が引き起こすコンプトン効果による連続部が存在している。この連続部はバックグラウンドとして扱われる。

D：正 ウランやトリウム系列核種であるラジウムやトリウムはセメントやコンクリート、石など

の建材に含まれている。また  $^{40}\text{K}$  は天然放射性物質として環境中に含まれるため、建屋内のバックグラウンドの要因となり得る。

問 11 放射性同位元素を利用した厚さ測定に関する次の I～III 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 紙やプラスチックやゴム板などの厚さの測定に広く使用されている  $\beta$  線源のうち、 A は、半減期 2.6 年で  $\beta^-$  壊変し最大エネルギー 225 keV の  $\beta^-$  線を放出する。この元素には安定同位体が存在せず、すべての同位体が放射性である。 B は  C の放射性核種であり、10.7 年の半減期で  $\beta^-$  壊変し最大エネルギー 687 keV の  $\beta^-$  線を放出する。 D は半減期 28.8 年で  $\beta^-$  壊変し、 E (半減期 64.0 時間) になる。 D は最大エネルギー 546 keV の  $\beta^-$  線を放出し、 E はおおよそその  F の最大エネルギーの  $\beta^-$  線を放出する。 D と  E は  G に達しているため、 D を収納している容器の材質としては  H 物質で  $\beta^-$  線を遮蔽し、その外側を  I 物質で覆うことにより、 J を効果的に遮蔽する。

<A～E の解答群>

- |                      |                    |                    |                     |                      |
|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| 1 $^{14}\text{C}$    | 2 $^{36}\text{Cl}$ | 3 $^{41}\text{Ar}$ | 4 $^{85}\text{Kr}$  | 5 $^{90}\text{Sr}$   |
| 6 $^{90}\text{Y}$    | 7 $^{99}\text{Mo}$ | 8 $^{99}\text{Tc}$ | 9 $^{115}\text{Cd}$ | 10 $^{115}\text{In}$ |
| 11 $^{147}\text{Pm}$ | 12 固体状             | 13 液体状             | 14 気体状              |                      |

<F～J の解答群>

- |               |            |              |
|---------------|------------|--------------|
| 1 2 倍         | 2 4 倍      | 3 8 倍        |
| 4 荷電粒子平衡      | 5 永続平衡     | 6 化学平衡       |
| 7 原子番号の大きい    | 8 原子番号の小さい | 9 核反応断面積の大きい |
| 10 核反応断面積の小さい | 11 散乱線     | 12 蛍光 X 線    |
| 13 制動放射線      | 14 消滅放射線   |              |

[解答] I A-11 B-4 C-14 D-5 E-6 F-2 G-5 H-8 I-7 J-13

[解説]

A～E：次の  $\beta$  壊変核種が選択肢にある。 $^{14}\text{C}$  ( $t_{1/2}$ ; 5,730 年,  $E_{\beta\text{max}}$ ; 156 keV)、 $^{36}\text{Cl}$  ( $t_{1/2}$ ; 301,300 年,  $E_{\beta\text{max}}$ ; 710 keV)、 $^{41}\text{Ar}$  ( $t_{1/2}$ ; 109 分,  $E_{\beta\text{max}}$ ; 1,198 keV)、 $^{85}\text{Kr}$  ( $t_{1/2}$ ; 10.7 年,  $E_{\beta\text{max}}$ ; 687 keV)、 $^{90}\text{Sr}$  ( $t_{1/2}$ ; 28.8 年,  $E_{\beta\text{max}}$ ; 546 keV)、 $^{90}\text{Y}$  ( $t_{1/2}$ ; 64.0 時間,  $E_{\beta\text{max}}$ ; 2,280 keV)、 $^{99}\text{Mo}$  ( $t_{1/2}$ ; 65.9 時間,  $E_{\beta\text{max}}$ ; 1,215 keV)、 $^{99}\text{Tc}$  ( $t_{1/2}$ ;  $2.1 \times 10^5$  年,  $E_{\beta\text{max}}$ ; 294 keV)、 $^{115}\text{Cd}$  ( $t_{1/2}$ ; 54.5 時間,  $E_{\beta\text{max}}$ ; 1,110 keV)、 $^{115}\text{In}$  ( $t_{1/2}$ ;  $4.41 \times 10^{14}$  年,  $E_{\beta\text{max}}$ ; 496 keV)、 $^{147}\text{Pm}$  ( $t_{1/2}$ ; 2.6 年,  $E_{\beta\text{max}}$ ; 225 keV)、ここで  $t_{1/2}$  は半減期、 $E_{\beta\text{max}}$  は放出率最大の  $\beta$  線最大エネルギーを示す。記した各核種の放射線の核データをすべて記憶していなくても、半減期や  $\beta$  線のエネルギーの大きな値や核種間の親娘関係 ( $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y} \rightarrow ^{90}\text{Zr}$ )、元素の化学的性質 (例えば Ar や Kr は貴ガス(希ガス)元素) などの知識がヒントになる。

紙・プラスチック等の厚さの測定には、 $^{85}\text{Kr}$  または  $^{147}\text{Pm}$  のような低いエネルギーの  $\beta$  線源が用いられ、検出器には電離箱が用いられる。また、ゴムや比較的厚いプラスチックシートの厚さ

の測定には、 $^{90}\text{Sr}$ のような高エネルギーの $\beta$ 線源が利用されている。

安定同位体のない元素(放射性元素)はTc、PmとBi以降(原子番号83以上)の重元素である。放射平衡には過渡平衡と永続平衡があり、親核種の半減期が娘核種に比較して非常に大きい場合は永続平衡になる。

F~J:  $\beta$ 線を原子番号の小さい物質で遮蔽した方が、二次放射線である制動放射線の発生を抑えることができ、発生した制動放射線はその周りに原子番号の高い物質を遮蔽として利用すると比較的薄くても遮蔽効果が大きい。(なお、制動放射線は電子と物質との相互作用で放出される電磁放射線であり、透過力が大きい。)

参考: 改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 現場必携! 教育訓練テキスト、日本アイソトープ協会、丸善、2020、54ページ、表3.4、

II 銅板やアルミニウム板などの厚さの測定には $\gamma$ 線の透過量から測定物の厚さを測定するものが広く使われており、 $\gamma$ 線源として **K** が使われることが多い。**K** は432.6年と長い半減期の超ウラン元素の1つである。 $\alpha$ 壊変して **L** になる。 $\alpha$ 線のエネルギーは平均 **ア** MeVであり $\gamma$ 線のエネルギーは **イ** keVである。

測定対象物の厚さを  $t$  [cm]、測定対象物の線減弱係数を  $\mu$  [ $\text{cm}^{-1}$ ]、測定対象物がない場合の、 $\gamma$ 線を検出する位置でのフルエンス率を  $F_0$  とすると、 $\gamma$ 線が細い線束で入射する場合、同じ位置での透過 $\gamma$ 線のフルエンス率  $F$  は以下の式で表される

$$F = F_0 e^{-\mu t}$$

透過 $\gamma$ 線のフルエンス率  $F$  が  $F_0$  の1/2になるアルミニウムの厚さは **ウ** cmとなる。ただし、**K** の $\gamma$ 線に対するアルミニウムの質量減弱係数を  $2.8 \times 10^{-1} \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 、アルミニウムの密度を  $2.7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 $\ln 2 = 0.693$  として散乱 $\gamma$ 線の影響は考えないものとする。

<K、Lの解答群>

1  $^{233}\text{Pa}$     2  $^{237}\text{Np}$     3  $^{242}\text{Pu}$     4  $^{241}\text{Am}$     5  $^{246}\text{Cm}$   
6  $^{252}\text{Cf}$

<ア~ウの解答群>

1 0.11    2 0.24    3 0.92    4 1.8    5 2.7  
6 3.5    7 4.9    8 5.5    9 6.7    10 9.8  
11 17    12 36    13 60    14 140    15 270

[解答] II    K-4    L-2    ア-8    イ-13    ウ-3

[解説]

K、L、ア、イ: この問題に関連する核種は  $^{233}\text{Pa}$  ( $t_{1/2}$ ; 27日,  $E_{\beta\text{max}}$ ; 232 keV,  $\beta$ 壊変)、 $^{237}\text{Np}$  ( $t_{1/2}$ ;  $2.14 \times 10^6$ 年, 4.8 MeV -  $\alpha$ 線)、 $^{242}\text{Pu}$  ( $t_{1/2}$ ;  $3.75 \times 10^5$ 年, 4.9 MeV -  $\alpha$ 線)、 $^{241}\text{Am}$  ( $t_{1/2}$ ; 432.6年, 5.5 MeV -  $\alpha$ 線, 60 keV -  $\gamma$ 線)、 $^{246}\text{Cm}$  ( $t_{1/2}$ ;  $4.76 \times 10^3$ 年, 5.4 MeV -  $\alpha$ 線)、 $^{252}\text{Cf}$  ( $t_{1/2}$ ; 2.645年, 6.1 MeV -  $\alpha$ 線) である。

ここで挙げられた核種はアクチノイド（アクチニド）核種である。多くは $\alpha$ 壊変をする。特に $^{241}\text{Am}$ は $\alpha$ 線源としての利用に加えて、 $\gamma$ 線源としても有用で厚さ計として利用される。

ウ： $\gamma$ 線フルエンス率の式より、

$$F/F_0 = e^{-\mu t} = 1/2$$

$$\ln(e^{-\mu t}) = \ln(1/2)$$

$$-\mu t = -\ln 2$$

$$t = \ln 2 / \mu$$

$$= \ln 2 / (\mu_m \times \rho) \quad \text{線減弱係数: } \mu \text{ (cm}^{-1}\text{)} = \text{質量減弱係数: } \mu_m \text{ (cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}\text{)} \times \text{密度: } \rho \text{ (g} \cdot \text{cm}^{-3}\text{)}$$

$$= 0.693 / 0.28 / 2.7 \cong 0.92 \text{ (cm)}$$

III が装備されている厚さ計を所有している事業者が使用を廃止するので、これに伴い、装置本体および設置場所の汚染検査をすることとした。汚染検査の方法としては、測定対象物の表面をふき取り、を用いてふき取り試料を測定する測定法が適切である。通常、線源は装置に装備されたままであるが、緊急な処置が必要で、線源を取り外す場合は被ばくだけでなく、破損しやすいので被ばくを起こさないように注意して取り扱う必要がある。取り外した線源の運搬にあたっては容器で遮蔽するのが適切である。

<M、Nの解答群>

- |           |                       |                      |
|-----------|-----------------------|----------------------|
| 1 固体飛跡検出器 | 2 $^3\text{He}$ 比例計数管 | 3 ZnS(Ag)シンチレーション検出器 |
| 4 電離箱     | 5 間接                  | 6 直接                 |
| 7 絶対      | 8 相対                  | 9 接触                 |
| 10 非接触    |                       |                      |

<O～Qの解答群>

- |          |               |        |
|----------|---------------|--------|
| 1 全身     | 2 サブマージョン     | 3 外部   |
| 4 内部     | 5 慢性          | 6 アクリル |
| 7 アルミニウム | 8 ホウ素含有ポリエチレン | 9 鉛    |

〔解答〕 III M-3 N-5 O-3 P-4 Q-9

〔解説〕

M、N：選択肢にある各検出器とその代表的な用途は、固体飛跡検出器（中性子による個人被ばく線量測定）、 $^3\text{He}$  比例計数管（中性子検出器）、ZnS(Ag)シンチレーション検出器（ $\alpha$ 線サーベイメータ）、電離箱（ $\gamma$ 線による1 cm線量当量の測定）である。

間接測定は、直接測定できない線源表面の汚染検査の際に利用される。ろ紙で測定対象の表面をふき取り、このろ紙をサーベイメータ等で測定する方法である。この方法はふき取り法（スミア法）と呼ばれる。

O～Q：被ばくを受ける場所によって、全身被ばくと局所被ばくがあり、放射線の発生源が体外か体内かによって、外部被ばくと内部被ばくに区別される。一般的に密封線源の取扱いでは内部被ばくのおそれは少ない。しかし、 $\alpha$ 線源では透過力の弱い $\alpha$ 線を放出させるため窓材に極めて薄い

金属箔が利用され、取扱いに際して破損が起こるおそれがある。破損した線源から漏洩した放射性同位元素により内部被ばくを引き起こす可能性がある。

遮へい材とそれに適合する放射線の種類は、アクリル ( $\beta$ 線)、アルミニウム ( $\beta$ 線、X線)、ホウ素含有ポリエチレン (中性子線)、鉛 ( $\gamma$ 線、X線) となるので、 $^{241}\text{Am}$  ( $\gamma$ 線) に対して鉛で遮へいする。

問 12 ある事業所で、 $^{137}\text{Cs}$  密封線源 (300 MBq) 1 個を使用する計画が立てられている。次の I～IV 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 使用計画及び線量評価条件を下表に示す。

$^{137}\text{Cs}$ の実効線量率定数 [ <input type="text" value="A"/> ]	1日当たりの使用時間 [ h ]	1週間当たりの使用日数 [ d ]	使用時の線源からの距離 [ m ]
$7.8 \times 10^{-2}$	4.0	2	0.50

この計画では、作業者の 1 週間当たりの実効線量は、最大   $\mu\text{Sv}$  と算出される。作業者がこの計画を 1 年間実施した場合、被ばく線量は、放射線業務従事者に対する実効線量限度である 1 年間につき   $\text{mSv}$  を超えることはない。一方、年間被ばく線量が、平成 13 年 4 月 1 日以後の 5 年ごとについて定められている実効線量限度を毎年均等に被ばくした場合の 1 年あたりの線量を超えないように作業するためには、使用計画の見直しが必要となる。1 日当たりの使用時間の変更によって対応する場合には、この値を  h を最大として、それ以下に減ずることとなる。

<A の解答群>

- 1  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$     2  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$     3  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$   
4  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

<ア の解答群>

- 1  $5.9 \times 10^1$     2  $2.4 \times 10^2$     3  $5.9 \times 10^2$     4  $7.5 \times 10^2$     5  $8.9 \times 10^2$   
6  $1.0 \times 10^3$

<イ の解答群>

- 1 1    2 1.3    3 5    4 10    5 20  
6 50    7 100

<ウ の解答群>

- 1 1.5    2 1.8    3 2.1    4 2.4    5 2.7  
6 3.0    7 3.3

〔解答〕 I    A-2    ア-4    イ-6    ウ-3

〔解説〕

A、ア：実効線量率定数の単位は、 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  なので、作業者の 1 週間あたりの実効線量

は、

$$7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 0.5^{-2} [\text{m}^{-2}] \times 300 [\text{MBq}] \times 8 \left[ \frac{\text{h}}{\text{week}} \right] \cong 7.5 \times 10^2 [\mu\text{Sv/week}]$$

となる。

イ：職業人の個人被ばく線量限度は、100 mSv/5年及び50 mSv/年と定められている。

ウ：年間作業週を50週とすると

$$7.5 \times 10^2 \left[ \frac{\mu\text{Sv}}{\text{week}} \right] \times 50 \left[ \frac{\text{week}}{\text{year}} \right] \times 5 [\text{year}] \cong 187.5 [\text{mSv/5year}]$$

となる。法令では100 mSv/5年であるため、作業時間を

$$187.5 [\text{mSv/5year}] \div 100 [\text{mSv/5year}] = 1.875$$

1.875分の1に減ずる必要がある。

$$4.0 [\text{h}] \div 1.875 \cong 2.133 [\text{h}]$$

II 外部被ばくの防護の3原則「時間、距離、遮蔽」には、外部被ばく線量を低減する3つの有効な対策が簡潔に表現されている。前述Iの計画の実施に際し、事前に、必要器具類を準備し実施手順を練習するなどの **B** を行うこと、貯蔵施設と使用場所間の線源の運搬に **C** を用いること、線源の操作に **D** を用いることなどは線量低減に有効である。なお、**E** を着用することは、診断用X線に対して有効であるが<sup>137</sup>Cs密封線源に対しては、線量の低減効果は小さい。

<Bの解答群>

- |          |         |           |
|----------|---------|-----------|
| 1 コールドラン | 2 通報訓練  | 3 ブリーフィング |
| 4 ヒアリング  | 5 ホットラン | 6 モニタリング  |

<C~Eの解答群>

- |             |            |            |
|-------------|------------|------------|
| 1 カート       | 2 グローブボックス | 3 ゴム手袋     |
| 4 トング       | 5 半面マスク    | 6 フェイスシールド |
| 7 鉛含有放射線防護衣 | 8 防護服      |            |

〔解答〕 II B-1 C-1 D-4 E-7

〔解説〕

B、D：RI取扱い開始前に(1)血液検査その他の健康診断を行い、個人の正常値を知っておく、(2)放射性物質の取扱いに関する知識、操作法を習熟しておく、(3)使用するRIの性質、使用量、距離、時間から被ばく線量を推定しておく、(4)作業に必要な器具や線量計等を準備する、(5)コールドランを行い、操作を習熟しておく、(6)遠隔操作できる器具を用意しておく、ことが重要である。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱い 現場必備！教育訓練テキスト、  
日本アイソトープ協会、丸善、2020、38ページ

C：放射性同位元素を運搬する場合は、容器に封入するとともに、転倒、落下、破損等の恐れがないように対策を施さなくてはならない。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱い 現場必備！教育訓練テキスト、

日本アイソトープ協会、丸善、2020、49 ページ

E:  $^{137}\text{Cs}$  の  $\gamma$  線は 0.662 MeV であり、実効線量についての鉛の半価層および 1/10 価層は 0.5 cm および 1.6 cm であるため、最大鉛厚 0.5 mm 程度の鉛含有放射線防護衣では  $^{137}\text{Cs}$  の  $\gamma$  線に対しては、線量の低減効果は小さい。

III 線源の密封が正常であることを定期的を確認することは重要である。一般的な確認方法を例示する。

- (1) **F** により線源表面の傷、亀裂等の有無を確認する。
- (2) **G** 及び **H** を、スミアろ紙などでふき取り、それを測定器で測定する。
- (3) 可能な場合には、サーベイメータにより **G** を測定する。

$^{137}\text{Cs}$  密封線源の密封性が損なわれ、放射性核種が漏洩した場合、漏洩物質からは  $^{137}\text{Cs}$  の **I** 線と子孫核種 **J** の **K** による  $\gamma$  線が放出される。上記 (3) の測定には、**I** 線に対して感度の高い **L** 式サーベイメータが適している。

<F~H の解答群>

- |             |                 |
|-------------|-----------------|
| 1 煮沸法       | 2 衝撃試験          |
| 3 染色探傷法     | 4 目視            |
| 5 作業者の体表面   | 6 線源表面          |
| 7 線源保管容器の内部 | 8 ダストサンプラーの捕集ろ紙 |

<I、J の解答群>

- |            |                     |                             |                             |                      |
|------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1 $\alpha$ | 2 $\beta^-$         | 3 消滅放射                      | 4 制動放射                      | 5 中性子                |
| 6 特性 X     | 7 $^{137}\text{Xe}$ | 8 $^{138\text{m}}\text{Cs}$ | 9 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ | 10 $^{137}\text{La}$ |

<K、L の解答群>

- |                   |                   |                       |
|-------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 核異性体転移          | 2 軌道電子捕獲          | 3 中性子捕獲               |
| 4 内部転換            | 5 端窓型 GM 管        | 6 $^3\text{He}$ 比例計数管 |
| 7 NaI(Tl)シンチレーション | 8 ZnS(Ag)シンチレーション | 9 電離箱                 |

[解答] III F-4 G-7 H-6 I-2 J-9 K-1 L-5

[解説]

F、G、H: 密封線源の安全性の確認には(1)目視、(2)スミア法、(3)線源保管容器内部の測定、(4)サーベイメータによる方法、(5)浸せき法がある。

参考: 改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱い 現場必備! 教育訓練テキスト、  
日本アイソトープ協会、丸善、2020、57 ページ

I、J、K:  $^{137}\text{Cs}$  は  $\beta^-$  壊変して  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  (半減期 2.552 分) になる。その後、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$  は  $\gamma$  線を放出し、核異性体転移による安定な  $^{137}\text{Ba}$  となる。

L:  $\beta^-$  線の測定には端窓型 GM 式サーベイメータを用いる。NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータは  $\gamma$  線の測定に使用する。

IV この事業所では、 $^{137}\text{Cs}$  密封線源 (300 MBq) 1 個を、同じ事業所内にある別の建屋の使用施設へ運搬する計画も立てられている。線源を小型のプラスチック製容器に入れ、その容器を立方体の箱に、線源が箱の中央に位置するように収納して運搬物とすることとした。線量率を評価する上で、線源自身、プラスチック製容器、立方体の箱のいずれにも遮蔽能力はないものとみなした。事業所内運搬について、運搬物の線量率に関する技術的基準は次の2項目である。

(1) 表面から 1 m 離れた位置における  $\boxed{\text{M}}$  率が  $\boxed{\text{エ}}$   $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$  を超えないこと。

(2) 運搬物の表面における  $\boxed{\text{M}}$  率が  $2 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$  を超えないこと。

このうち、基準(1)については、表面から 1 m 離れた位置における線量率は  $\boxed{\text{オ}}$   $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$  と算出されるので、基準は満たされている。ただし、 $^{137}\text{Cs}$  の  $\boxed{\text{M}}$  率定数を  $9.3 \times 10^{-2} \boxed{\text{A}}$  とする。基準(2)については、線源を点と見なすと、立方体の箱の一边を  $\boxed{\text{カ}}$  m 以上とすることにより、基準を満たすことができる。基準が満たされていることの測定による確認には、 $\boxed{\text{N}}$  式サーベイメータが適している。

<Mの解答群>

1 1 cm 線量当量    2 空気吸収線量    3 空気カーマ    4 照射線量

<エの解答群>

1 20    2 30    3 40    4 50    5 100  
6 200    7 500

<オの解答群>

1 13    2 28    3 33    4 53    5 58  
6 63    7 103    8 108    9 113    10 118

<カの解答群>

1 0.18    2 0.21    3 0.24    4 0.27    5 0.38  
6 0.41

<Nの解答群>

1  $^3\text{He}$  比例計数管    2 NaI(Tl)シンチレーション    3 ZnS(Ag)シンチレーション  
4 電離箱    5 GM管    6 プラスチックシンチレーション

[解答] IV    M-1    エ-5    オ-2    カ-3    N-4

[解説]

M、エ：事業所内運搬では 1 cm 線量当量率が容器表面で  $2 \text{ mSv/h}$  以下、また容器より 1 m で  $100 \mu\text{Sv/h}$  以下と定められている。

オ：実効線量率定数が  $9.3 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}]$  であるので、

$$9.3 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 1^{-2} [\text{m}^{-2}] \times 300 [\text{MBq}] \cong 28 [\mu\text{Sv/h}]$$

となる。

カ：線源から容器表面までの距離を  $x$  [m] とすると

$$9.3 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times x^{-2} \times 300 [\text{MBq}] \cong 2000 [\mu\text{Sv/h}]$$

の関係が成り立つ。そのため  $x \cong 0.12$  [m] と求まる。問題は立方体の箱の 1 辺の長さをもとめてい

(令和5年度) 第2種実務

るため、線源から容器表面までの距離を2倍にする必要がある。

$$0.12 \times 2 = 0.24 \text{ [m]}$$

N: NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータの測定範囲は最大 30.0  $\mu\text{Sv/h}$  であるため、基準を満たさない。一方、電離箱式サーベイメータの測定範囲は 1.00  $\mu\text{Sv/h}$  ~ 1.00 Sv/h であるため、基準を満たしていることの測定による確認に適している。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱い 現場必備！教育訓練テキスト、  
日本アイソトープ協会、丸善、2020、25 ページ