

令和3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。

(令和3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  $^{152}\text{Eu}$  の点線源(100 kBq)が真空中にある。 $^{152}\text{Eu}$  は、72%の確率でEC壊変し、28%の確率で $\beta$ -壊変する。線源から50cm離れた点における $\beta$ -線のフルエンス率 $[\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$ として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、線源による自己吸収およびその他の吸収・散乱は無視できるものとする。

- 1  $8.1 \times 10^3$     2  $8.9 \times 10^3$     3  $9.7 \times 10^3$     4  $1.2 \times 10^4$     5  $1.5 \times 10^4$

〔解答〕 2

〔解説〕 100 kBq の  $^{152}\text{Eu}$  線源では全ての壊変のうち28%が $\beta$ -線を放出する。よって、一秒間当たり放出される $\beta$ -線(Q)は  $2.8 \times 10^4$  個となる。距離 r が 50 cm (= 0.5 m) 離れたところでのフルエンス率  $\psi$  を求めるので、

$$\psi = Q / 4\pi r^2 \text{ より}$$

$$\frac{2.8 \times 10^4}{4 \times \pi \times 0.5^2} = 0.8917 \dots \times 10^4$$

となり、 $8.9 \times 10^3 [\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$  の 2 が正解となる。

問2 放射能が異なる3つの $^{137}\text{Cs}$ 点線源がある。各線源周辺の地点A~Cについて、実効線量率が高い順に並んでいるものは、次のうちどれか。ただし、 $^{137}\text{Cs}$ 点線源の放射能[MBq]、線源一評価地点間の距離[m]、遮蔽材は下表のとおりとする。また、周囲の物質による散乱は無視する。

| 地点 | 放射能[MBq] | 距離[m] | 遮蔽材       |
|----|----------|-------|-----------|
| A  | 100      | 2     | なし        |
| B  | 300      | 4     | なし        |
| C  | 1,000    | 2     | 厚さ2 cmの鉄板 |

- 1 A>B>C  
2 A>C>B  
3 B>A>C  
4 B>C>A  
5 C>A>B

〔解答〕 5

〔解説〕 まず、AとBを比較すると、Bの放射能はAの3倍、距離は2倍である。線量は放射能

に比例, 距離の二乗に反比例するので,  $A > B$  となる。一方,  $^{137}\text{Cs}$  の放出する  $\gamma$  線 (662 keV) に対する鉄の半価層はおおよそ 1.5 cm であることから (ICRP Pub.21, 体外線源からの電離放射線に対する防護のためのデータ(1971)), 2 cm の厚さの鉄による遮蔽では線量は  $1/4$  以下にはならない。よって,  $C > A$  となる。ゆえに 5 が正解となる。

※  $^{60}\text{Co}$  や  $^{137}\text{Cs}$  などの代表的な放射性核種に対する鉄や鉛などの代表的な遮蔽材の半価層は覚えておく必要がある。 $^{60}\text{Co}$  の放射線の半価層は鉛 1.2 cm, 鉄 2.0 cm であり,  $^{137}\text{Cs}$  では鉛 0.7cm, 鉄 1.5cm である。

問3 遮蔽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  $\alpha$  線に対しては、特に遮蔽材は必要ない。
- B 高エネルギー  $\beta$  線を効率よく遮蔽するには、プラスチック製の衝立の線源側に金属板を取り付ける。
- C 低エネルギー  $\gamma$  線に対する眼の水晶体の防護に、鉛含有ガラスを用いた防護眼鏡は有効である。
- D 中性子に対しては、 $\text{B}_2\text{O}_3$  含有ポリエチレンブロックは有効である。

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

〔解答〕 1

〔解説〕

- A：正  $\alpha$  線は飛程が短いため、遮蔽材は必要ない。
- B：誤 高エネルギー  $\beta$  線による被ばくでは、制動放射による X 線の発生を考慮する必要がある。そのためには、予め原子番号の小さい物質（この場合はプラスチック）でエネルギーを落としてから、原子番号の大きい物質（この場合は金属板）で遮蔽する必要がある。実際には、文章とは逆で線源の反対側に金属板を付ける。制動放射線の発生の確率は、 $\beta$  線が当たる物質の原子番号が大きいほど高い。問7の解説も参照のこと
- C：正 鉛は原子番号が大きいため、低エネルギーの  $\gamma$  線であれば、効率よく遮蔽できる。
- D：正 ホウ素は中性子線を吸収しやすいため、その遮蔽に用いられる。

問4 組織加重係数(ICRP2007年勧告)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 組織加重係数が最も大きい臓器・組織には、甲状腺が含まれる。
- B 組織加重係数は、確定的影響の発生率の推定には適用されない。
- C 内部被ばくには、外部被ばくよりも大きい組織加重係数が適用される。
- D 組織加重係数の総和は1である。

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

〔解答〕 4

〔解説〕

- A：誤 甲状腺の組織加重係数は0.04であり、最も大きい組織である骨髄（赤色）、結腸、肺、胃、乳房の0.12と比べて小さい。
- B：正 組織加重係数は組織における確率的影響の発生確率を元に算出されているため、確定的影響の発生率の推定には利用できない。
- C：誤 組織加重係数は組織特有の値であり、内部被ばく、外部被ばくの違いで値が変わることではない。
- D：正 組織加重係数は全身のリスクを1として、これを各組織の放射線感受性の違いで分割したものである。

問5 ICRP2007年勧告で示されている防護体系の3つの基本原則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 正当化、防護の最適化、線量限度の適用の3つの基本原則は、計画被ばく、緊急時被ばく、現存被ばくのすべての被ばく状況に適用される。
  - B 放射性物質の故意の添加又は放射化により、食品、飲料、化粧品、玩具及び個人の宝石や装飾品などの製品の放射能を高めることは、例外的な事情がない限り、さらなる分析を行わずに正当と認めるべきではない。
  - C 防護の最適化は、あらゆる潜在被ばくを含む被ばく状況の評価などの作業を伴う継続的かつ反復的なプロセスを通じて、一般的な事情の下における最善の防護レベルを達成することを常に目的としている。
  - D 線量限度は患者の医療被ばくには適用されない。
- 1 ABCのみ    2 ABのみ    3 ADのみ    4 CDのみ    5 BCDのみ

〔解答〕5

〔解説〕

- A：誤 線量限度の適用の原則は、計画被ばくに対しては適応されるが、緊急時被ばくと現存被ばくに対しては、適応されない。緊急時被ばくと現存被ばくは、最適化によって被ばくを抑える努力が求められる。特に緊急被ばくでは福島原発事故以降に参考レベルという概念が用いられるようになり、状況に応じて参考レベルを設定し、それ以下に被ばくを抑えることが求められる。
- B：正 放射能が増えることにより、リスクとベネフィットのバランスが崩れる可能性があるため、正当化の再検討は行うべきである。
- C：正
- D：正 例えば、がんの治療では、線量限度をはるかに超える放射線を照射することがある。そのため、個々のケースで正当化し、防護の最適化を図ることが重要になる。

問6 次の線源に関する記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 銀箔により表面が被覆された<sup>241</sup>Amの線源は、 $\alpha$ 線検出器のエネルギー校正線源として

用いることができる。

B エネルギーの異なる  $\gamma$  線を放出する混合線源は、 $\gamma$  線検出器のエネルギー校正線源として用いることができる。

C  $^{252}\text{Cf}$  は、中性子線源として用いることができる。

D  $^{63}\text{Ni}$  は、電子捕獲型検出器の線源として用いることができる。

- 1 ABCのみ    2 ABのみ    3 ADのみ    4 CDのみ    5 BCDのみ

〔解答〕 5

〔解説〕

A：誤 銀箔で被覆された場合、 $^{241}\text{Am}$  から放出される  $\alpha$  線は遮蔽されるため、エネルギー校正線源としては不適切である。

B：正 エネルギー校正線源なので、複数のエネルギーの  $\gamma$  線に対して検出されるパルスの波高の違いを調べることでエネルギー校正を行う。

C：正  $^{252}\text{Cf}$  は自発核分裂核種であり、密封中性子線源として利用される。

D：正 電子捕獲型検出器 (ECD) は、 $^{63}\text{Ni}$  が放出する  $\beta^-$  線により引き起こされる電離電流の変化を測定する。ガスクロマトグラフィーなどの検出器に用いられる。

問 7 次の密封  $\beta$  線源のうち、制動放射線の発生率が高くその遮蔽について最も注意を払うべきものはどれか。ただし、すべての密封  $\beta$  線源の放射能は等しいものとする。

- 1  $^{63}\text{Ni}$   
2  $^{85}\text{Kr}$   
3  $^{90}\text{Sr}$   
4  $^{137}\text{Cs}$   
5  $^{204}\text{Tl}$

〔解答〕 3

〔解説〕 全て制動放射線を発生する可能性のある  $\beta^-$  核種であるが、放出する  $\beta^-$  線の最大エネルギーは 1 MeV 未満である。しかし、 $^{90}\text{Sr}$  から生じる娘核種  $^{90}\text{Y}$  は、最大エネルギー 2.28 MeV の硬  $\beta$  線を放出するため、他の核種に比べて、制動放射線の遮蔽に注意を払う必要がある。問 3 の B の解説も参照のこと。

問 8 空気等価壁電離箱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 照射線量の測定に用いられる。  
B プラトー領域の上限付近の電圧で用いられる。  
C 充填ガスにはクエンチガスが添加されている。  
D 電離箱の器壁から内部に放出された二次電子も測定に含まれる。

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

〔解答〕 3

〔解説〕 電離箱の壁面を空気に近い原子番号をもつ物質で構成したものを空気等価壁電離箱と呼び、より正確に線量測定を行うことができる。

A：正

B：誤 電離箱は、放射線で生成されたイオン対が電離箱内で再度結合することを抑制するのに必要な電圧がかけられている。この電圧の領域を電離箱領域と呼び、生成されたイオン対の量と電離電流の値が比例する。電離箱領域もプラトーになっているが、上限付近では印加電圧と電離電流の値の関係性が不安定になるため、中央付近で使用する事が望ましい。

C：誤 電離箱では原理上、クエンチングガスは封入されない。

D：正 空気等価壁で発生した2次電子のうち電離箱の有感体積に入射した電子数と電離箱内で発生し空気等価壁に吸収された2次電子数が等しくなるように設計されている。空気等価壁は原子番号が空気と近い物質で構成されている。これは、等価壁を仮想的な高密度空気としてみるためである。

問9 ある試料を GM 計数装置(分解時間  $100 \mu\text{s}$ )により 100 秒間測定したところ 20,000 カウンットの計数値が得られた。形状・サイズが同じで放射能が 2 倍の試料を同じ時間測定したときに予想される計数について、正しいものは次のうちどれか。ただし、両測定において、計数効率は同じであり、また、バックグラウンド計数は無視し得るものとする。

- 1 いわゆる窒息現象をきたし、計数不能となる。
- 2 常に 40,000 カウンットの計数値が得られる。
- 3 40,000 カウントよりも高い計数値と低い計数値とが、同程度の確率で得られる。
- 4 40,000 カウントよりも低い計数値が、高い確率で得られる。
- 5 40,000 カウントよりも高い計数値が、高い確率で得られる。

〔解答〕 4

〔解説〕 GM 計数装置では、ある放射線を検出した後に、次の放射線を検出できるまでに時間がかかる。この時間が分解時間である。一度に多数の放射線が入射すると、分解時間の間に放射線が入射する回数が増えて、いわゆる「数え落とし」が起きて実際よりも計数が小さく出る。さらに多数の放射線が入射すると、計数ができなくなる窒息現象を引き起こす。また、放射線の発生には揺らぎがあるため、常に一定の値をとることはない。問 12 の F の解説も参照のこと。

問 10 次の個人線量計とその検出原理との関係のうち、正しいものの組合せはどれか。

- |            |   |              |
|------------|---|--------------|
| A OSL 線量計  | － | 光刺激ルミネセンス    |
| B 蛍光ガラス線量計 | － | ラジオフィトルミネセンス |

- C 熱ルミネセンス線量計 - エレクトロルミネセンス  
D 半導体式ポケット線量計 - レーザー分光  
1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕 1

〔解説〕

A：正 光刺激ルミネセンス (Optically Stimulated Luminescence) を利用している。

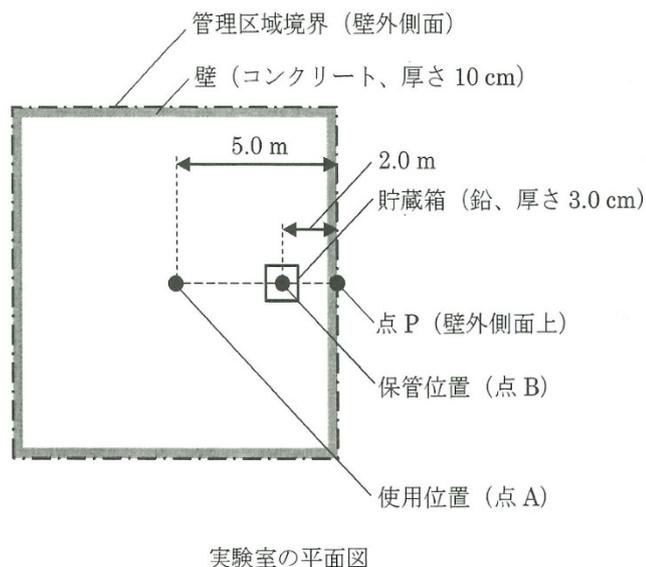
B：正 ラジオフォトルミネセンスを利用している。

C：誤 熱ルミネセンス線量計は TLD (Thermoluminescent Dosimeter) と呼ばれ、熱刺激により蛍光を放出する熱ルミネセンスを原理としている。エレクトロルミネセンスは有機 EL などに利用される。

D：誤 半導体式ポケット線量計は、pn 接合型のシリコン半導体に正の逆電圧を印加し、放射線により作られた正孔-電子対を電離電流として測定している。原理的には電離箱と同じ手法である。

問 11 次の I～III の文章の  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 ある研究所では、 $^{137}\text{Cs}$  の密封線源 (150 MBq) を 1 個所有している。線源は、実験室の貯蔵箱 (鉛の厚さ 3.0cm) に入れて保管されており、使用時は貯蔵箱から線源を取り出し、所定の場所に設置して使用する。実験室の壁はコンクリート (10cm) でできており、管理区域の境界はコンクリートの壁の外側面となる。



作業者の 1 週間当たりの最大となる実効線量及び管理区域境界における 3 月間当たりの最大

(令和3年度) 第2種実務

となる実効線量を次の表に示す条件を用いて評価する。

| 線源                | 実効線量率定数<br>[ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ] | 実効線量透過率             |                     | 距離[m]        |              |
|-------------------|--|---------------------|---------------------|--------------|--------------|
|                   |  | 鉛<br>(厚さ3.0 cm)     | コンクリート<br>(厚さ10 cm) | 点Aから<br>点Pまで | 点Bから<br>点Pまで |
| $^{137}\text{Cs}$ | $7.8\times 10^{-2}$  | $5.0\times 10^{-2}$ | $6.4\times 10^{-1}$ | 5.0          | 2.0          |

なお、線源を使用しないとき、線源は常に貯蔵箱の中に保管されているものとする。また、評価時間については、人が常時立ち入る場所における実効線量の評価時間は、1週間につき40時間(1日につき8時間×5日)、管理区域境界における実効線量の評価時間は、3月間につき500時間とする。

また、実効線量の評価時における作業者と線源の間の距離は、線源の使用時及び保管時ともに0.50mとする。さらに、管理区域の境界で線量率が最も高くなる点は壁外側面上の点Pであり、線源の使用時の位置(点A)及び貯蔵箱の中の線源の位置(点B)から点Pまでの距離はそれぞれ5.0m、2.0mとする。なお、本評価において、散乱線の影響は無視できるものとする。また、線源の使用時における評価においては、貯蔵箱による遮蔽効果は無視することとする。

線源の保管時と使用時それぞれの作業者の1時間当たりの実効線量を評価すると、使用時は  $\boxed{\text{A}}$   $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 、保管時は  $\boxed{\text{B}}$   $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  となる。よって、1週間の最大の実効線量は、線源の使用時間を10時間、保管時間を30時間として評価すると  $\boxed{\text{C}}$   $\mu\text{Sv}$  となる。この値は、法令で定める人が常時立ち入る場所における実効線量の線量限度である1週間につき  $\boxed{\text{ア}}$  mSv を超えない。

さらに、線源の保管時と使用時それぞれの管理区域境界における1時間当たりの実効線量を評価すると、使用時は  $\boxed{\text{D}}$   $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 、保管時は  $\boxed{\text{E}}$   $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  となる。よって、管理区域境界における3月間の最大の実効線量は、線源の使用時間を130時間、保管時間を370時間として評価すると  $\boxed{\text{F}}$  pSv となる。この値は、法令で定める管理区域の設定に係る実効線量である3月間につき  $\boxed{\text{イ}}$  mSv を超えない。

<A~Fの解答群>

- 1  $2.3\times 10^{-3}$     2  $2.5\times 10^{-2}$     3  $9.4\times 10^{-2}$     4  $3.0\times 10^{-1}$     5  $1.0\times 10^0$   
 6  $2.4\times 10^0$     7  $9.4\times 10^0$     8  $2.3\times 10^1$     9  $4.7\times 10^1$     10  $7.4\times 10^1$   
 11  $5.5\times 10^2$     12  $4.7\times 10^3$

<ア、イの解答群>

- 1 0.1    2 0.3    3 0.5    4 1    5 1.3  
 6 2.4    7 3.7    8 10    9 13    10 20

[解答] I    A-9    B-6    C-11    D-4    E-3    F-10    ア-4    イ-5

〔解説〕

A： $^{137}\text{Cs}$  密封線源が 150 MBq であり作業者と線源の間の距離が 0.50 m および実効線量率定数を考慮して計算する。

$$\begin{aligned} & 7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{MBq})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 150 [\text{MBq}] \times \frac{1}{0.5^2} [\text{m}^{-2}] \\ & = 4.68 \times 10^1 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cong 4.7 \times 10^1 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

B：A と同様に計算できる。鉛 3.0 cm の実効線量透過率を考慮して計算する。

$$\begin{aligned} & 7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{MBq})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 150 [\text{MBq}] \times \frac{1}{0.5^2} [\text{m}^{-2}] \times 5.0 \times 10^{-2} \\ & = 2.34 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cong 2.4 \times 10^0 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

C：A および B の結果を用いて、使用時間 10 時間、保管時間 30 時間として計算する。

$$4.7 \times 10^1 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \times 10 \text{ h} + 2.4 \times 10^0 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \times 30 \text{ h} = 542 \mu\text{Sv} \cong 5.5 \times 10^2 \mu\text{Sv}$$

ア：法令で定める人が常時立ち入る場所における実効線量の線量限度は 1 週間につき 1 mSv 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 現場必備！教育訓練テキスト，日本アイソトープ協会，丸善，2020，89 ページ

D：使用時の管理区域境界における 1 時間あたりの実効線量は実効線量率定数およびコンクリートの実効線量透過率を用いて計算する。

$$\begin{aligned} & 7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{MBq})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 150 [\text{MBq}] \times \frac{1}{5.0^2} [\text{m}^{-2}] \times 6.4 \times 10^{-1} \\ & = 0.299 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cong 3.0 \times 10^{-1} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

E：保管時の管理区域境界における 1 時間あたりの実効線量は実効線量率定数および鉛とコンクリートの実効線量透過率を用いて計算する。

$$\begin{aligned} & 7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{MBq})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 150 [\text{MBq}] \times \frac{1}{2.0^2} [\text{m}^{-2}] \times 5.0 \times 10^{-2} \times 6.4 \times 10^{-1} \\ & = 0.0936 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cong 9.4 \times 10^{-2} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

F：D および E で求めた 1 時間あたりの実効線量を用い、使用時間 130 時間、保管時間 370 時間として計算する。

$$\begin{aligned} & 3.0 \times 10^{-1} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \times 130 \text{ h} + 9.4 \times 10^{-2} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \times 370 \text{ h} = 73.8 \mu\text{Sv} \\ & \cong 7.4 \times 10^1 \mu\text{Sv} \end{aligned}$$

イ：法令で定める管理区域の設定に係る実効線量は 3 月間につき 1.3 mSv 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 現場必備！教育訓練テキスト，日本アイソトープ協会，丸善，2020，89 ページ

II 線源の使用計画の変更について、1週間当たりの使用時間の変更を検討することとなった。法令で定める人が常時立ち入る場所における実効線量の線量限度を超えないようにするには、最大[ウ]時間まで線源の使用時間を伸ばして計画することができる。このように変更した場合の管理区域境界の点Pの3月間の最大の実効線量は[G] $\mu\text{Sv}$ となる。ただし、3月間の評価時間500時間のうち、線源の使用時間を、[ウ]時間の13倍として評価する。

<ウの解答群>

1 12    2 15    3 18    4 20    5 25    6 29

<Gの解答群>

1  $1.0 \times 10^2$     2  $1.5 \times 10^2$     3  $5.6 \times 10^2$     4  $1.0 \times 10^3$     5  $1.4 \times 10^3$   
6  $6.5 \times 10^3$     7  $1.3 \times 10^4$     8  $2.9 \times 10^4$

[解答] II    ウー4    Gー1

[解説]

ウ：Iより使用時間10時間、保管時間30時間での1週間の最大の実効線量は $5.5 \times 10^2 \mu\text{Sv}$ であった。法令で定める人が常時立ち入る場所における実効線量の線量限度である $1 \text{ mSv}$ を超えないようにするには、 $1.0 \times 10^3 \mu\text{Sv} - 5.5 \times 10^2 \mu\text{Sv} = 4.5 \times 10^2 \mu\text{Sv}$ 未満まで増やすことが可能である。I-Aより使用時の1時間当たりの実効線量は $4.7 \times 10^1 \mu\text{Sv h}^{-1}$ 、保管時は $2.4 \times 10^0 \mu\text{Sv h}^{-1}$ であるので、使用時間を1時間増やすと、 $4.7 \times 10^1 \mu\text{Sv} - 2.4 \times 10^0 \mu\text{Sv} = 4.46 \times 10^1 \mu\text{Sv}$ 増えることになる。したがって、 $4.5 \times 10^2 \mu\text{Sv} \div 4.46 \times 10^1 \mu\text{Sv} = 10.1$ 時間未満まで使用時間を伸ばすことができるので、使用時間は20時間が適当である。  
G：3月間の評価時間500時間のうち、使用時間は $20 \times 13 = 260$ 時間と求められるので、保管時間は240時間となる。よって

$$\begin{aligned} 3.0 \times 10^{-1} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \times 260 \text{ h} + 9.4 \times 10^{-2} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \times 240 \text{ h} &\cong 100.6 \mu\text{Sv} \\ &\cong 1.0 \times 10^2 \mu\text{Sv} \end{aligned}$$

III 密封線源の取り扱いに係る放射線管理について検討する。

密封線源の取り扱いに係る外部被ばくを低減することは重要である。外部被ばくの低減において、外部被ばくの防護の3原則は、[H]・[I]・時間である。貯蔵箱から線源を取り出すなど作業者が線源を持ち運ぶ際は[J]などを用い、線源からの[H]を確保し外部被ばくを防護することが有効である。また、[K]を装着することは、[エ]のようなエネルギーの比較的低いX・ $\gamma$ 線を放出する核種に対しては、作業者の被ばく線量を低減するために有効であるが、 $^{137}\text{Cs}$ 線源のようなエネルギーの比較的高い $\gamma$ 線に対する効果は低い。

また、密封線源の落下等に伴い密封性が損なわれた可能性がある場合には、外観検査や汚染

検査を行う必要がある。汚染検査では、表面にサーベイメータを近づけて測定する「L」と、その表面をろ紙などでふき取り、そのろ紙を測定する「M」の2種類がある。密封線源の検査では、線源から放射線が放出されているため、漏えいしている放射性同位元素からの放射線を測定するためには、「M」を用いることが適切である。

床などの汚染検査に「M」を用いる場合には、直径2cm程度のろ紙で汚染表面100cm<sup>2</sup>をふき取り、そのろ紙を測定する。遊離性表面汚染の場合、測定値から表面汚染密度Aを求めるには次式による(JISZ45042008)。

$$A = \frac{N - N_b}{\varepsilon_i F S \varepsilon_s}$$

ここで、 $N$ は測定された計数率、 $N_b$ はバックグラウンド計数率、 $\varepsilon_i$ は $\beta$ 粒子又は $\alpha$ 粒子に対する機器効率、 $F$ はふき取りでふき取られた放射能とふき取る前に存在した遊離性表面汚染の放射能の比から求められる「N」、 $S$ はふき取り面積、 $\varepsilon_s$ はふき取り試料の線源効率である。 $F$ は、実験的に求められている場合はその値を用い、実験的な評価がない場合には安全を考慮し「オ」を用いる。

<H~Kの解答群>

- |                |            |        |
|----------------|------------|--------|
| 1 重量           | 2 濃度       | 3 冷却   |
| 4 効率           | 5 遮蔽       | 6 閉じ込め |
| 7 距離           | 8 ゴム手袋     | 9 安全靴  |
| 10 鉛含有エプロン型防護衣 | 11 ビニールシート | 12 トング |

<エの解答群>

- 1 <sup>22</sup>Na    2 <sup>54</sup>Mn    3 <sup>60</sup>Co    4 <sup>241</sup>Am

<L~Nの解答群>

- 1 バイオアッセイ法    2 イオン交換法    3 スミア法    4 希釈法    5 直接法  
6 幾何学的効率    10 ふきとり効率

<オの解答群>

- 1 0.01    2 0.1    3 0.3    4 0.5    5 1.0

[解答] III    H-7    I-5    J-12    K-10    エ-4    L-5    M-3    N-10    オ-2

[解説]

H~K、エ：外部被ばく防護の3原則は距離・遮蔽・時間である。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 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、23および53ページ

<エの解答群>の $\gamma$ 線のエネルギーは

<sup>22</sup>Na 1.275 MeV

<sup>54</sup>Mn 0.835 MeV

<sup>60</sup>Co 1.17 MeV および 1.33 MeV

<sup>241</sup>Am 26.3 KeV および 59.5 KeV

であり、 $^{241}\text{Am}$  以外はすべて中・高エネルギーの $\gamma$ 線を放出する。

参考：放射線概論 第13版，通商産業研究社 665 ページ

L、M：汚染検査の方法としては直接法と間接法の二つがある。間接法としてはスミア法が一般的であり、本問の解答群には間接法がないため、スミア法を選ぶ。

N、オ：JIS Z4504 2008 には、「ふき取り効率 F は、実験的評価がある場合にはその値を、実験的評価がない場合には安全を考慮して 0.1 を用いなければならない。」と記載されている。材質によるふき取り効率の違いは JIS Z4504 では考慮されていない。

問 12 サーベイメータに関する次の 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。なお、解答群の選択肢は、必要に応じて 2 回以上使ってもよい。

I サーベイメータには用途に応じた様々な種類のものがある。

線量率測定用サーベイメータについては、例えば、 式サーベイメータは自然放射線レベル程度の線量率の測定に適している。一方、非破壊検査のように比較的高いレベルの線量率を精度よく測定する用途に適した機器としては、 式サーベイメータが挙げられる。また、中性子による線量率測定用の機器の 1 つに、 と減速材を組み合わせたサーベイメータがある。これらの線量率測定用サーベイメータは、 に対して校正されている。

表面汚染測定用サーベイメータについては、例えば、 $\alpha$  線放出核種の表面汚染測定用として  式、Si 半導体検出器式、 式サーベイメータなどがある。 を検出器とするサーベイメータの中には、 など低エネルギー $\beta$ 線放出核種による表面汚染測定用に開発された機器もある。一般的な $\beta$ 線放出核種の表面汚染測定を主用途とする機器には、 式や  式サーベイメータがある。このうち  式サーベイメータでは、 が長いので、計数の数え落としに注意する必要がある。また、表面汚染測定用サーベイメータには、 keV 前後の X・ $\gamma$  線を放出する  $^{125}\text{I}$  の測定に適した  式サーベイメータもある。

<A~H の解答群>

- |                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| 1 放電箱               | 2 $^3\text{He}$ 比例計数管 |
| 3 NaI (Tl) シンチレーション | 4 ガスフロー比例計数管          |
| 5 端窓型 GM 管          | 6 ZnS (Ag) シンチレーション   |
| 7 チェレンコフ検出器         | 8 電離箱                 |
| 9 プラスチックシンチレーション    |                       |

<ア~ウの解答群>

- |                                  |                                     |                                       |                                       |
|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 実効線量率                          | 2 計数効率                              | 3 1 cm線量当量率                           | 4 照射線量率                               |
| 5 $^3\text{H}$ や $^{14}\text{C}$ | 6 $^{32}\text{P}$ や $^{35}\text{S}$ | 7 $^{36}\text{Cl}$ や $^{45}\text{Ca}$ | 8 $^{89}\text{Sr}$ や $^{90}\text{Sr}$ |
| 9 減衰時間                           | 10 遅延時間                             | 11 分解時間                               | 12 電荷収集時間                             |

<エの解答群>

1 10 2 30 3 60 4 100

〔解答〕 I A-3 B-8 C-2 D-6 E-4 F-5 G-9 H-3  
ア-3 イ-5 ウ-11 エ-2

〔解説〕

A：線量率測定用サーベイメータは、一般的に電離箱式、GM管式、NaI(Tl)シンチレーション式の3つの方式があり、感度については電離箱<GM管<NaI(Tl)シンチレーションの順番で良くなる。微弱な自然放射線レベルの測定ではNaI(Tl)シンチレーションが最適である。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 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

B：上に記した同じ理由により、高線量率の測定には、電離箱がふさわしい。機種によって測定領域限界は異なるが1 Sv/hを超えるものもある。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 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

C：中性子を検出する方法は、種々あるが、放射線防護を目的とした線量率測定には、熱中性子検出器を減速材で囲んだ減速型検出器（レムカウンタとも呼ばれる）が用いられる。熱中性子検出器としては<sup>3</sup>Heガスをを用いた比例計数管がよく利用される。

D：α線は飛程が短い荷電粒子線であるので、その特徴に対応するα線専用の測定機器が用いられる場合が多い。ZnS(Ag)シンチレーションやSi半導体検出器はその例である。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 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

E：ガスフロー比例計数管は、検出器に印加する電圧を変えることによりα線とβ線を分離計測することができる。

F：β線放出核種の表面汚染用サーベイメータの方式はGM管やプラスチックシンチレーションがある。GM管は100μ秒程度の分解時間（不感時間とよばれることもある）があり、放射線入射による放電後にこの間は計数されないので数え落としがある。問9の解説も参照のこと。

G：プラスチックシンチレーション式サーベイメータは、検出器の遮光用保護膜によってα線は遮へいされ、γ線の感度も低いのでβ線を主に検出する。Fの解説も参照のこと。

H：通常のNaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータでは50 keV以下のγ（X）線測定はできない。<sup>125</sup>I（35 keVなど）や<sup>55</sup>Fe（5.9 keVなど）の低エネルギーγ（X）線測定の場合には、ベリリウム薄窓の低エネルギー用NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータを用いる。

ア：線量率測定用サーベイメータは、一般に外部被ばくの評価に用いられる1cm線量当量率に校正されている。

イ： ${}^3\text{H}$  (トリチウム,  $\beta$ 線最大エネルギー18.6 keV) や  ${}^{14}\text{C}$  ( $\beta$ 線最大エネルギー156 keV) は、利用頻度が高い低エネルギー $\beta$ 線放出核種の代表例である。その他の $\beta$ 線放出核種の最大エネルギーを示すと、 ${}^{32}\text{P}$  (1.7 MeV),  ${}^{35}\text{S}$  (0.17 MeV),  ${}^{36}\text{Cl}$  (0.7 MeV),  ${}^{45}\text{Ca}$  (0.26 MeV),  ${}^{89}\text{Sr}$  (1.5 MeV),  ${}^{90}\text{Sr}$  (0.5 MeV) となる。通常  ${}^{35}\text{S}$  と  ${}^{45}\text{Ca}$  も低エネルギー $\beta$ 線放出核種と呼ばれる。

ウ：分解時間については問9と本問のFの解説も参照のこと。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 現場必備！教育訓練テキスト, 日本アイソトープ協会, 丸善, 2020, 24 ページ

エ： ${}^{125}\text{I}$  は 35 keV の $\gamma$ 線以外に、27 keV, 31keV などの X 線を放出する。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 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

II 次に、線量率測定用サーベイメータの使用に際し留意すべき点について述べる。

サーベイメータを、 $\boxed{\text{I}}$ へのトレーサビリティのとれた校正場で定期的に校正することは、測定の信頼性を保つ上で重要である。校正定数が  $R$  と報告されたサーベイメータで読み値  $M$  が得られたとき、読み値は、式 $\boxed{\text{J}}$ で計算し補正される。

測定範囲を設定するスイッチ(レンジスイッチ)が手動切り替え方式の機種では、レンジスイッチを $\boxed{\text{K}}$ に設定し測定を開始する。その後、レンジスイッチを順に切り替えてゆき、指示値が読み取りやすい値に設定する。

線量率が大きく変化した場合、しばらく待ってから指示値を読み取る必要がある。その時間は、アナログ表示の機器の場合、出力回路の $\boxed{\text{L}}$ に関係している。 $\boxed{\text{L}}$ とは、出力回路の静電容量 $\boxed{\text{C}}$ と抵抗値 ( $R$ ) とから、 $\boxed{\text{L}} = \boxed{\text{M}}$ で求められる値である。サーベイメータを $\boxed{\text{L}}$   $T$  [s]で使用しているとき、線量率が変化してから  $t$  [s]後の指示値は、飽和指示値の $\boxed{\text{N}}$ 倍を示す。例えば、 $T=3\text{s}$ のサーベイメータで、初めの指示値が0であるとき、飽和指示値の90%に達するのに約 $\boxed{\text{O}}$ sを要する。ただし、 $\ln 10=2.3$ とする。一般的に、 $\boxed{\text{P}}$ 線量率を測定するときほど大きい $\boxed{\text{L}}$ で使用する。

<I~Kの解答群>

- |         |         |                |              |
|---------|---------|----------------|--------------|
| 1 ICRP  | 2 ICRU  | 3 UNSCEAR      | 4 国家標準       |
| 5 $M+R$ | 6 $M-R$ | 7 $M \times R$ | 8 $M \div R$ |
| 9 最小値   | 10 任意の値 | 11 中央値         | 12 最大値       |

<L~Nの解答群>

- |                   |                 |                  |
|-------------------|-----------------|------------------|
| 1 ライブタイム          | 2 ライズタイム        | 3 回復時間           |
| 4 時定数             | 5 $R^2 \cdot C$ | 6 $R \cdot C^1$  |
| 7 $R \cdot C$     | 8 $R \cdot C^2$ | 9 $\exp(-t/T)$   |
| 10 $1-\exp(-t/T)$ | 11 $\exp(t/T)$  | 12 $1-\exp(t/T)$ |

<O, Pの解答群>

1 4 2 5 3 6 4 7 5 8 6 9 7 低い 8 高い

〔解答〕 II I-4 J-7 K-12 L-4 M-7 N-10 O-4 P-7

〔解説〕

I:トレーサビリティとは、「不確かさがすべて表記された切れ目のない比較の連鎖によって、決められた基準に結びつけられ得る測定結果または標準の値の性質。基準は通常、国家標準または、国際標準」と定義されている (JIS Z8103:2000 計測用語より)。なお、ICRP は国際放射線防護委員会で、専門家の立場から放射線防護に関する勧告を行う。ICRU は国際放射線単位測定委員会、放射線に関する物理量およびその単位の使用の定義などを行う。UNSCEAR は原子放射線の影響に関する国連科学委員会、放射線による被ばくのレベルとその影響を評価する。

参考:改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 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, 30 ページ

J:校正定数 ( $M$ ) = 真の値  $\div$  読み値 ( $R$ ) と定義されている。よって、真の値 =  $M \times R$  である。

K:アナログメータは、回路やメータ針に負荷がかからないように、最初はメータが振り切れない最大のレンジに設定し、続いて適切なレンジまでスイッチを切り替えていくのが通常の使い方である。

L:線量率が変化した時、それに対応して指示値が変化する。時定数は、指示値が安定化していく過程で目標値の  $(1 - 1/e)$  に達するまでの時間である。回路の抵抗値  $R$ 、容量  $C$  の RC 直列回路を考えたとき、時定数は  $R \cdot C$  となる。時定数が短いと線量率の時間変化に対するレスポンスが良くなるが、指示値が安定しない、一方、時定数が長いと指示値は比較的安定するが、時間変化に対するレスポンスは悪くなる。

参考:改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 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, 27 ページ

M:Lの解説を参照のこと。

N:問題に与えられた選択肢の内、飽和過程を表す式 (飽和係数) は  $1 - \exp(-t/T)$  になる。この式は時間経過に従って1に近づいていき、目標値への近さの指標となる。

参考:改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 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, 27 ページ

O:  $1 - \exp(-t/T) = 90/100$  が90%に達する場合に対応する。この式を経過時間について解き、時定数  $T = 3\text{ s}$  と  $\ln 10 = 2.3$  の近似値を代入すると

$$-t/T = \ln 0.1 (= -\ln 10)$$

$$t = T \ln 10 = 3 \times 2.3 \doteq 7\text{ s}$$

となる。

P:低い線量率では統計誤差による時間変動が大きいので、時定数を長くする必要がある。