

令和6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6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 防護量と実用量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 70 μ m 線量当量は実用量である。
 - B 防護量は測定可能な量である。
 - C 防護量は、組織・臓器の吸収線量を、放射線の種類やエネルギーの違いや、組織・臓器の放射線感受性の違いに基づいて重みづけした量である。
 - D 1cm 線量当量と実効線量は、放射線防護の目的を鑑み、等しくなるように定められている。
- 1 ACDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 BDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕 3

〔解説〕

- A：正 70 μ m 線量当量は、組織透過物質の深さ 70 μ m で指定される周辺線量当量 H^* 又は方向性線量当量 H' 、個人線量当量 H_p の総称であることから実用量である。
- B：誤 防護量は測定が不可能であり、防護量である等価線量や実効線量は被ばくした臓器やその放射線の種類による係数を用いて算出する。
- C：正
- D：誤 1cm 線量当量は実用量。実効線量は防護量。実用量は防護量に対して安全側の評価（過小評価されないよう）を与えるように、防護量より少し大きな数値が出るよう定義されている。
参考：5版 放射線安全管理の実際 21 ページ

問2 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 厚さ 0.3mm のゴム手袋では完全に遮蔽されない α 線を放出する核種がある。
 - B 陽電子放出核種の遮蔽対象は、陽電子と制動放射線である。
 - C γ 線に対する鉄板の遮蔽能力は、厚さが同じ鉛板よりも小さい。
 - D 速中性子に対して、ホウ素を添加したポリエチレンブロックは有効である。
- 1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕 4

〔解説〕

- A：誤 α 線の水中の飛程は $R=0.00052166 \times E^{1.5}$ (cm) で表される。 α 線のエネルギーは 2~8 MeV であり、飛程は 15~118 μ m となる。ゴムは水よりも質量が大きいため飛程はさらに短くなる。
- B：誤 遮蔽対象は陽電子と制動放射線と消滅放射線である。
- C：正 γ 線は、質量が大きいくほど透過力は減少する。そのため、厚さが同じ鉄と鉛では質量の大きい鉛の方が遮蔽能力は高い。

D: 正 速中性子は水素原子との衝突で最も効果的に減速され熱中性子となる。熱中性子線の吸収にはホウ素の他、カドミウムやガドリニウムが用いられる。

問3 細い線束状にコリメートした γ 線に対して、厚さ d [mm]の鉛板を通過した位置における γ 線フルエンスを $\phi(d)$ とすると、 $\phi(6.0)/\phi(0)$ として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、鉛の半価層を12mmとし、ビルドアップ係数を1.0とする。

- 1 0.61 2 0.66 3 0.71 4 0.76 5 0.81

[解答] 3

[解説] 入射した γ 線の強度を ϕ_0 、透過した直後の γ 線の強度を ϕ 、ビルドアップ係数を B 、減弱係数を μ とすれば、 ϕ は次式によって表される。

$$\phi = \phi_0 \times B \times e^{-\mu d} \quad (\text{A})$$

半価層 $D_{1/2} = 12$ より

$$12 = \ln 2 / \mu$$

$$\mu = \ln 2 / 12$$

これを(A)に代入すると

$$\begin{aligned} \frac{\phi(6.0)}{\phi(0)} &= \frac{\phi_0 \times 1.0 \times e^{-(\ln 2 / 12) \cdot 6.0}}{\phi_0 \times 1.0 \times e^{-(\ln 2 / 12) \cdot 0}} \\ &= e^{-(\ln 2 / 2)} \\ &= (e^{\ln 2})^{-(1/2)} \end{aligned}$$

$e^{\ln 2} = 2$ より

$$\begin{aligned} \frac{\phi(6.0)}{\phi(0)} &= 2^{-\frac{1}{2}} \\ &\approx 0.71 \end{aligned}$$

もしくは、 $\mu = 0.693/12$ を(A)に代入すると

$$\begin{aligned} \frac{\phi(6.0)}{\phi(0)} &= \frac{\phi_0 \times 1.0 \times e^{-(0.693/12) \cdot 6.0}}{\phi_0 \times 1.0 \times e^{-(0.693/12) \cdot 0}} \\ &= e^{-0.3465} \\ &\approx e^{-(1/3)} \\ &\approx 0.72 \end{aligned}$$

問4 次の量と単位の関係のうち、正しいものの組合せはどれか。

- | | | |
|--------------|---|---|
| A 線エネルギー吸収係数 | — | $\text{eV} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| B 散乱断面積 | — | m^2 |
| C 質量阻止能 | — | $\text{eV} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^2$ |
| D W値 | — | eV |

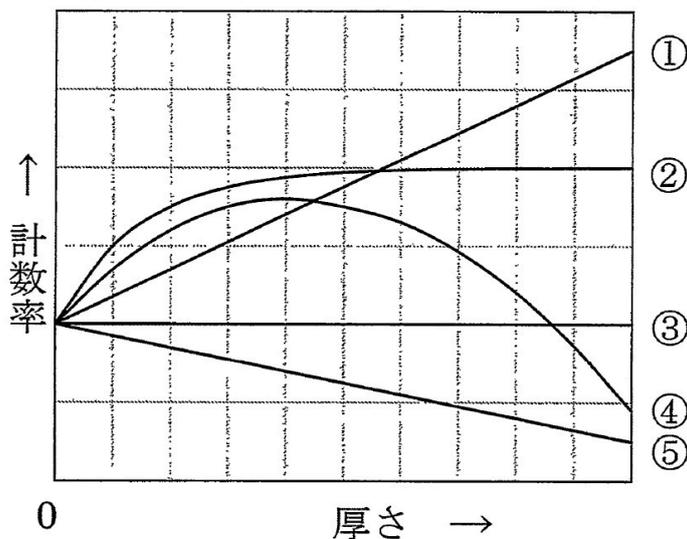
- 1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕 4

〔解説〕

- A：誤 m^{-1} で表す。
B：正 m^2 あるいはバーン ($1 \text{ barn} = 10^{-28} m^2$) で表す。
C：正 阻止能を密度で割った値を表す。
D：正 1つのイオン対を生成するために必要なエネルギー。

問5 端窓型 GM 計数管で β 線源の放射能を測定するとき、後方散乱に起因して、計数率は線源支持台の厚さによって変化する。線源支持台の厚さと計数率の関係を示す直線または曲線は次のうちどれか。なお、線源と検出器の距離は常に一定とする。



- 1 ① 2 ② 3 ③ 4 ④ 5 ⑤

〔解答〕 2

〔解説〕 線源から GM 計数管に対して反対方向に飛んだ放射線は、線源支持台との相互作用により反射し GM 計数管に入射する。線源支持台は空気と比較して、質量が大きいため放射線との相互作用が起きやすい。そのため、線源支持台の厚さが増すほど線源支持台を通り抜ける放射線の数が増え、反射する放射線が増加する。ただし、線源支持台が放射線エネルギーを全て吸収する厚みを超えると、それ以上は反射する放射線が増加しないため一定となる。

問6 シンチレーション検出器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 プラスチックシンチレータは、熱中性子測定に使用される。

- B ZnS(Ag)シンチレータは、 β 線測定に使用される。
- C NaI(Tl)シンチレータは、 γ 線測定に使用される。
- D プラスチックシンチレータは、端窓型GM計数管よりも入射窓面積を大きくできる。
- E プラスチックシンチレータとZnS(Ag)シンチレータとの組合せにより、 α 線と β 線を同時に測定できる。

1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACEのみ 4 BDEのみ 5 CDEのみ

〔解答〕 5

〔解説〕

- A：誤 β 線の測定に使用される。
- B：誤 α 線測定に使用される。
- C：正
- D：正 プラスチックの加工や製作が容易であり、大型化が可能である。
- E：正 α/β 分離回路により、 α 線と β 線を同時に測定できる製品が市販されている。

問7 高純度Ge半導体検出器による γ 線スペクトロメトリー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 エネルギー分解能が数keVでの測定に適している。
- B ^{152}Eu 線源は、エネルギー校正に適している。
- C 標準体積線源の充填量[g]と等しくなるように分析試料を秤量^{ひょうりょう}することが求められる。
- D 部屋の換気はバックグラウンド γ 線に影響しない。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 1

〔解説〕

- A：正 分解能が高く、多くの核種を精度良く検出できる。
- B：正 ^{152}Eu 線源は半減期が長く(約13.5年)、低/中/高の様々なエネルギーの放射線を出すため、複数の核種を使わずに幅広いエネルギー帯での校正が可能である。
- C：誤 正確な放射能および試料の構造(面積、高さ)が重要である。
- D：誤 空気中にはバックグラウンド γ 線に影響するラドンが浮遊しており、換気することでバックグラウンドが低減する。

問8 パッシブ型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 基本の装着部位は、男性女性を問わず胸部である。
- B 管理区域では放射線作業の有無にかかわらず継続的に装着する。
- C 管理区域の中に保管する。
- D 眼の水晶体測定用の線量計は、防護眼鏡の内側に装着する。

(令和6年度) 第2種実務

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕 5

〔解説〕

A：誤 女性は腹部に装着する。

B：正 放射線作業を行わなくても被ばくするリスクがあるため、管理区域内では常に装着する。

C：誤 管理区域内に滞在している際の正確な被ばく量を測定する必要があり、保管は管理区域外にて行う。

D：正 目における被ばくは防護眼鏡を通り抜けた放射線によるものであり、水晶体測定用の線量計は、防護眼鏡の内側に装着する必要がある。

問 9 相対標準不確かさ(相対標準偏差)5%以下で放射線を計数したい。最低限必要な計数値に最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 100 2 400 3 900 4 1,600 5 2,500

〔解答〕 2

〔解説〕 測定値を A とすると、相対標準偏差は $\sqrt{A}/A \times 100\%$ であり、5%以下となる A の値は

$$\sqrt{A}/A \times 100 \leq 5$$

$$A \leq 400$$

問 10 個人被ばく管理における実効線量及び等価線量の算定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 実効線量とは、外部被ばくによる実効線量と内部被ばくによる実効線量を合算した値である。

B 外部被ばくによる実効線量とは、1cm 線量当量と 70 μ m 線量当量のどちらか高い方の値である。

C 内部被ばくによる実効線量とは、摂取後 50 年間の預託実効線量の値である。

D 妊娠中の女子の腹部表面の等価線量とは、1cm 線量当量の値である。

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

〔解答〕 3

〔解説〕

A：正

B：誤 実効線量の計算には 1 cm 線量当量の値を用いる。

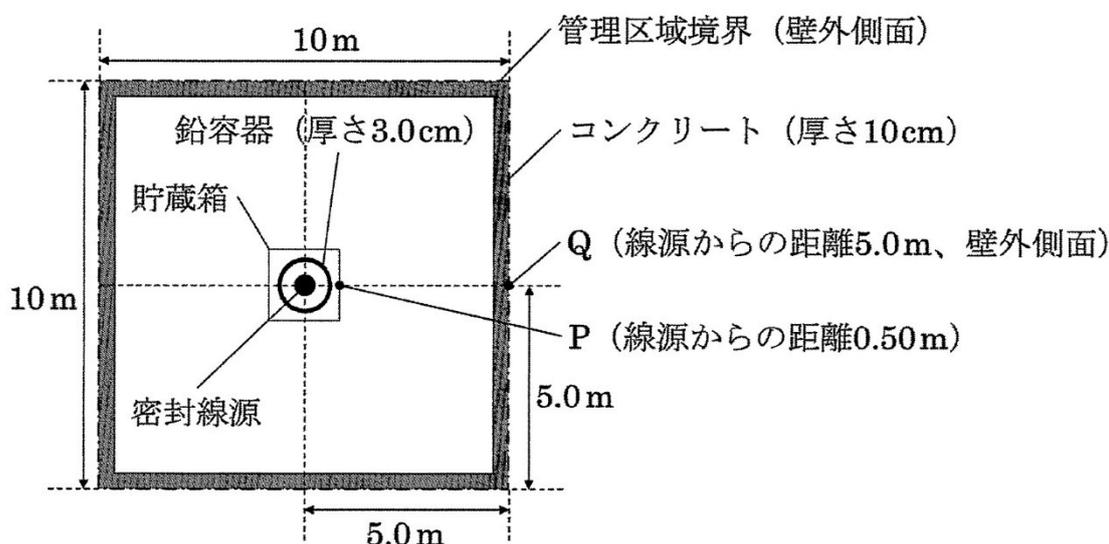
C：正

D：正

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 ある事業所では、下図に示す照射室において、 ^{137}Cs の密封線源(100 MBq)1 個を使用する許可を受けるため、放射線取扱主任者は、次に示す条件において線量評価を行う。線源は、鉛容器(鉛の厚さ 3.0cm)に収納され、照射室の貯蔵箱に入れて保管されている。使用時は鉛容器から線源を取り出して貯蔵箱の上に置いて使用する。線源の取り出しにあたっては、長さ 0.50m のトンクを用いる。貯蔵箱は 1 辺が 1.0m のステンレス製の立方体であり、ステンレスは遮蔽に寄与しないものとする。保管時は、必ず貯蔵箱の中央に鉛容器を設置するものとする。照射室の壁はコンクリート製(厚さ 10cm)であり、管理区域の境界は壁の外側面である。



照射室の平面図

作業者の 1 週間当たりの実効線量が最大となる位置は点 P である。管理区域境界における 3 月間当たりの実効線量が最大となる位置は点 Q である。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	実効線量透過率	
	$[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}]$	鉛 (厚さ 3.0 cm)	コンクリート (厚さ 10 cm)
^{137}Cs	7.8×10^{-2}	5.0×10^{-2}	6.4×10^{-1}

線源を使用しないときは、常に鉛容器に収納され貯蔵箱に保管されているものとする。評価時間

は、人が常時立ち入る場所については1週間につき40時間、管理区域境界については3月間につき500時間とする。本評価において、散乱線及びスカイシャインの影響は無視できるものとする。作業者が線源に最も近づく距離は、線源の使用時及び保管時ともに0.50mとする。

はじめに、人が常時立ち入る場所における実効線量を評価する。線源の使用時と保管時それぞれの作業者の1時間当たりの実効線量を計算すると、使用時は **ア** $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 、保管時は **イ** $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ である。線源を1週間当たり40時間使用すると、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 **ウ** mSv を超えてしまう。このため、事業所では、1週間の立ち入り時間40時間のうち、線源の使用時間を30時間としている。このとき、1週間の最大の実効線量は、 **エ** μSv となる。

次に、管理区域境界の点Qにおける実効線量を評価する。線源の使用時と保管時それぞれの1時間当たりの実効線量を計算すると、使用時は **オ** $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 、保管時は **カ** $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ である。したがって、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390時間、保管時間を110時間として評価すると **キ** μSv となる。これは、法令で定める管理区域に係る外部放射線に係る線量について、実効線量が3月間につき **ク** mSv を超えない。事業所境界までは十分な距離があるため、法令で定める事業所の境界における実効線量の線量限度である3月間につき **ケ** μSv を超えない。

<ア、イの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|---|---------------------|---|------------------|---|------------------|----|------------------|
| 1 | 1.0×10^{-2} | 2 | 2.0×10^{-1} | 3 | 1.6×10^0 | 4 | 6.4×10^0 | 5 | 3.2×10^1 |
| 6 | 3.7×10^1 | 7 | 6.4×10^1 | 8 | 8.0×10^1 | 9 | 7.8×10^2 | 10 | 9.8×10^2 |

<ウの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|---|-----|---|------|---|---|---|-----|---|-----|
| 1 | 0.1 | 2 | 0.25 | 3 | 1 | 4 | 1.3 | 5 | 3.7 |
|---|-----|---|------|---|---|---|-----|---|-----|

<エ～キの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|---|---------------------|---|------------------|---|------------------|----|------------------|
| 1 | 1.0×10^{-2} | 2 | 2.0×10^{-1} | 3 | 1.6×10^0 | 4 | 6.4×10^0 | 5 | 3.2×10^1 |
| 6 | 3.7×10^1 | 7 | 6.4×10^1 | 8 | 8.0×10^1 | 9 | 7.8×10^2 | 10 | 9.8×10^2 |

<ク、ケの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|---|-----|---|----|---|-----|---|-----|---|-------|
| 1 | 1.3 | 2 | 25 | 3 | 250 | 4 | 500 | 5 | 1,300 |
|---|-----|---|----|---|-----|---|-----|---|-------|

[解答] I アー5 イー3 ウー3 エー10 オー2 カー1 キー8 クー1 ケー3

[解説] 全て数値切り上げとして回答する。

ア： ^{137}Cs 密封線源 100 MBq から点 P における距離 0.50 m および実効線量率定数を用いて計算する。

$$7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times \frac{1}{0.5^2} [\text{m}^{-2}] \times 100 [\text{MBq}] = 3.12 \times 10^1 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}]$$
$$\cong 3.2 \times 10^1 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}]$$

イ：保管時は厚さ 3.0 cm の鉛容器で遮蔽されるため、アで求めた実効線量に鉛の実効線量透過率を用いて計算する。

$$3.2 \times 10^1 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}] \times 5.0 \times 10^{-2} = 1.6 \times 10^0 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}]$$

ウ：規制値として人が常時立ち入る場所（作業室）における実効線量は1週間につき1 mSv 以下と

定められている。

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－
87、89 ページ

エ：アで求めた実効線量に使用時間 30 時間を用いて計算する。

$$3.2 \times 10^1 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}] \times 30 [\text{h}] = 9.6 \times 10^2 [\mu\text{Sv}]$$

選択肢の中で最も近い値は 10 の 9.8×10^2 となる。

オ： ^{137}Cs 密封線源 100 MBq から点 Q における距離 5.0 m および、密封線源使用時は厚さ 10 cm のコンクリート製の壁のみで遮蔽されることから、コンクリートの実効線量透過率を用いて計算する。

$$7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times \frac{1}{5^2} [\text{m}^{-2}] \times 100 [\text{MBq}] = 0.312 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}]$$

$$0.312 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}] \times 6.4 \times 10^{-1} = 1.99 \times 10^{-1} [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}] \\ \cong 2.0 \times 10^{-1} [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}]$$

カ：保管時は鉛容器とコンクリート製の壁で遮蔽されるため、オの実効線量に鉛の実効線量透過率を用いて計算する。

$$2.0 \times 10^{-1} [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}] \times 5.0 \times 10^{-2} = 1.0 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}]$$

キ：オの実効線量にて使用時間を 390 時間とし、カの実効線量にて保管時間を 110 時間として計算をする。

$$2.0 \times 10^{-1} [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}] \times 390 [\text{h}] + 1.0 \times 10^{-2} \times 110 [\text{h}] = 79.1 [\mu\text{Sv}] \\ \cong 8.0 \times 10^1 [\mu\text{Sv}]$$

ク：規制値として管理区域に係る外部放射線に係る線量は実効線量で 1.3 mSv/3 月と定められており、管理区域の外ではこの値を超えてはならない。

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－
87、89 ページ

ケ：規制値として事業所境界に係る外部放射線に係る線量は実効線量で 250 μSv /3 月と定められており、事業所境界の外ではこの値を超えてはならない。

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－
87 ページ

II 事業所で使用している ^{137}Cs 密封線源(100 MBq)について、定期自主検査を行う。放射線取扱主任者は、検査項目として線源の外観確認及び汚染検査並びに貯蔵箱表面の 1cm 線量当量率の測定を設定し、作業計画を立案する。被ばくを低減するには、外部被ばくの防護の 3 原則が重要である。外観確認にあたっては、線源からの を確保するため、線源の近傍にビデオカメラを設置して、離れた位置から観察することとした。汚染検査にあたっては、密封線源の表面をろ紙でふき取り、そのろ紙を測定する を採用した。ふき取りにあたっては、棒の先にろ紙を取り付けて、線源からの を確保する。 のため鉛含有エプロン型防護衣の着用を検討したが、期待される効果が低いこと及び作業性が悪くなることから、採用しないこととした。作業の前に、放射性物質を含まない

模擬線源を用いて作業訓練を行い、線源を取り扱う **D** を短縮することとした。このように、作業を計画するときは、防護の3原則 **A**・**C**・**D** を組み合わせて、可能な限り作業者の被ばくを低減できるよう検討する。使用する測定器として、線源の汚染検査には **E** 式サーベイメータ、貯蔵箱表面の1cm線量当量率の測定に **F** 式サーベイメータを選定した。作業中は、通常の作業時に着用している線量計の他に、リアルタイムで個人線量当量を確認できる **G** を着用する。

<A～Dの解答群>

- | | | |
|----------|-------------|----------|
| 1 能率 | 2 品質 | 3 距離 |
| 4 圧縮 | 5 マネジメント | 6 管理 |
| 7 密封 | 8 時間 | 9 規制 |
| 10 遮蔽 | 11 バイオアッセイ法 | 12 希釈法 |
| 13 直接測定法 | 14 間接測定法 | 15 比較測定法 |

<E～Gの解答群>

- | | | |
|-------------------------|----------------------|------------|
| 1 BF ₃ 比例計数管 | 2 端窓型GM管 | 3 密度計 |
| 4 電離箱 | 5 ZnS(Ag)シンチレーション検出器 | 6 固体飛跡検出器 |
| 7 電子式線量計 | 8 OSL線量計 | 9 蛍光ガラス線量計 |
| 10 熱ルミネセンス線量計 | | |

〔解答〕 II A-3 B-14 C-10 D-8 E-2 F-4 G-7

〔解説〕

A、C、D：外部被ばくに対する対策として放射線防護の3原則があり、①線源と人体の間に遮蔽材を置く、②線源と人体の距離を大きくとる、③放射線を受ける時間を短くする、の3つである。

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－23ページ

B：バックグラウンドの放射線が高い場合や、³Hなどβ線のエネルギーが低いものは汚染を直接検出することが困難なため、スミアろ紙で表面をこすり、汚染をろ紙に移し取って測定する方法を間接法という。

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－46、47ページ

E、F：どちらも放射線による気体の電離作用を利用した測定器であり、GM管式はβ線に対して高感度なため汚染検査に最もよく使われる。電離箱式は測定感度のエネルギー依存性が小さく、1cm線量当量率の測定を最も正しく行うことができる。

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－24～26ページ

G：個人線量当量をリアルタイムで読み取ることができる直読型線量計は半導体式検出器であり、主に電子式線量計を指す。

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－31ページ

III 事業所の大型倉庫を解体するため、物品を整理していたところ、戸棚の中に「放射性」及び「セシウム」の文字が記載された鉛容器があり、中から金属の塊が発見された。連絡を受けた放射線取扱主任者は、管理下でない放射性物質の可能性があると判断するとともに、線源の破損の可能性を考慮して放射線管理員に戸棚の汚染検査を指示した。放射線管理員は戸棚の表面をろ紙でふき取り、そのろ紙を測定する **B** により汚染の有無を確認する。表面汚染密度 $A[\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}]$ は、以下の式から評価する。

$$A = \frac{n - n_B}{\varepsilon_i \times F \times S \times \varepsilon_S}$$

ここで n は測定時の総計数率 [s^{-1}]、 n_B はバックグラウンド計数率 [s^{-1}]、 ε_i は線源に対して決められた幾何学的条件で測定したときの測定器の正味計数率 [s^{-1}] と線源の表面放出率 [s^{-1}] の比から求められる **H**、 F は1回の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 **I** 表面汚染の放射能との比から求められるふき取り効率、 S はふき取り面積 [cm^2]、 ε_S は線源からの表面放出率 [s^{-1}] と線源の中で放出される単位時間当たりの放射線粒子数 [s^{-1}] との比である **J** である。事業所においては、放射線管理に係る社内規程において、 S を 100 cm^2 、 ^{137}Cs の場合は ε_S を 0.5 と規定している。 F は実験的に評価されている場合はその値を用いるが、事業所では評価していないので、安全を考慮して 0.1 を使用している。 ε_i が 0.4 の測定器を用いたとき、ろ紙測定時の総計数率は 680 min^{-1} 、バックグラウンド計数率は 80 min^{-1} であった。放射性物質として ^{137}Cs を仮定したとき、表面汚染密度は **コ** $\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ と評価される。

<H~Jの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 線源定数 | 2 線源効率 | 3 機器番号 | 4 機器効率 |
| 5 機器関数 | 6 揮発性 | 7 固着性 | 8 遊離性 |

<コの解答群>

- 1 0.05 2 0.1 3 0.5 4 5 5 10

〔解答〕 III H-4 I-8 J-2 コ-4

〔解説〕

H：線源に対して一定の幾何学的条件で測定したときの α 線または β 線表面放出率に対するサーベイメータの正味係数率の比を機器効率という。 α 線、 β 線の線質やエネルギーによって変化し、機種および機器固有の値である。

参考：JIS Z4329：2004

I：表面汚染には取れにくい汚染（固着性汚染）と、取れやすい汚染（遊離性汚染）がある。遊離性汚染には汚染物質が舞い上がり室内の空気を汚染し、内部被ばくが起こりうることに注意を払う必要がある。

参考：放射線取扱の基礎【第1種放射線取扱主任者試験の要点】10版—管44ページ

J：線源（飽和層厚さ以上の線源は飽和層厚さ）の中で、単位時間あたりに放出する同じ種類の放射線の粒子に対する表面放出率の比を線源効率といい、線源の性質と状態で変化する。

参考：JIS Z4329：2004

コ：計数率を毎分[min^{-1}]から毎秒[s^{-1}]へ換算し、各条件を用いて計算する。

$$\frac{(680[\text{min}^{-1}] - 80[\text{min}^{-1}])/60}{0.4 \times 0.1 \times 100[\text{cm}^{-1}] \times 0.5} = 5[\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-1}]$$

問12 密封線源に係る被ばく事故及び所在不明事例に関する次の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 密封線源の誤った使用や管理がなされると大きな脅威になる可能性がある。特に□A□線や中性子などを放出する線源からの外部被ばくは大きな問題となる。国内では、□A□線源である ^{192}Ir 線源による非破壊検査実施時における計画外の被ばくが過去に複数回起きている。計画外の被ばくとは、機器の故障、設定ミス、作業員の誤操作等に伴い通常想定している放射性同位元素等の取扱いとは異なった状況が発生したことにより、法令に定められた□B□被ばくがあったときをいう。 ^{192}Ir は半減期□C□日で約95%が□D□壊変し、約5%がEC壊変する放射性核種である。実際に起きた事故では、いずれも ^{192}Ir 線源が遮蔽機能を有した線源容器に正常に収納されていない状態で作業が行われている。

放射線業務従事者の実効線量限度は4月1日を始期とする1年間につき50 mSvであるが、計画外の被ばくに係る実効線量が□E□mSvを超えた場合、事業者は、その旨を□F□、その状況及びそれに対する処置を□G□に原子力規制委員会へ□H□しなければならない。非破壊検査に用いる ^{192}Ir 線源370 GBqが線源容器から取り出されたまま2.0 mの距離で30分間、作業員が計画外の被ばくをした場合、当該被ばくに係る実効線量は□I□mSvとなり、原子力規制委員会への□H□が必要となる。ただし、 ^{192}Ir 線源は点線源であり、実効線量率定数を $0.12 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ とする。作業員と線源との間に遮蔽物はなく、また散乱線の影響は無視できるものとする。被ばくしたこの作業員の場合、健康診断の項目の1つである末梢血液中の血球数等について、□J□と推測される。

放射線障害予防規程には放射線障害を防止するために必要な□K□、危険時の措置等が定められているが、計画外の被ばくの予防には、放射線取扱い方法、作業手順、線量計取扱い方法の教育の徹底、模擬線源を使用した□L□などが必要である。

<A~Dの解答群>

- | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|---------------------|--------|
| 1 α | 2 β^- | 3 β^+ | 4 γ | 5 特性X |
| 6 7.38 | 7 44.5 | 8 73.8 | 9 445 | 10 738 |
| 11 4,450 | | | | |
| 12 緊急作業に係る線量限度を超える | | | 13 公衆の線量限度を超える | |
| 14 放射線業務従事者の線量限度を超える | | | 15 線量限度の超過の有無にかかわらず | |

<Eの解答群>

- 1 1 2 2 3 3 4 5
5 10 6 15 7 20 8 25

<F、Gの解答群>

- 1 2日以内に 2 7日以内に 3 10日以内に 4 20日以内に
5 30日以内に 6 速やかに 7 直ちに 8 遅滞なく

<Hの解答群>

- 1 通報 2 問合せ 3 届出 4 報告 5 連絡

<Iの解答群>

- 1 1.8 2 2.5 3 4.2 4 5.6 5 8.7
6 12 7 18 8 24 9 28

<Jの解答群>

- 1 何も変化は現れない
2 白血球数、赤血球数ともに減少する
3 赤血球数は変化しないが、白血球数は減少する
4 白血球数は変化しないが、赤血球数は減少する
5 白血球数、赤血球数ともに変化しないが白血球百分率は変化する

<Kの解答群>

- 1 作業の最適化 2 教育及び訓練 3 作業時間の短縮法 4 安全対策

<Lの解答群>

- 1 コールドラン 2 通報訓練 3 トレーサ実験
4 ヒアリング 5 ホットラン 6 モニタリング

〔解答〕 I A-4 B-15 C-8 D-2 E-4 F-7 G-3 H-4 I-4 J-1 K-2 L-1

〔解説〕

A：外部被ばくは透過力の強い γ 線が主に影響するが、X線や中性子線も考慮が必要である。 α 線や β 線は皮膚表面でほとんど止まる。

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ー現場必備！教育訓練テキストー
23 ページ

B：計画外の被ばくとは、機器の故障、設定ミス、作業員の誤操作等により通常想定している放射性同位元素等の取扱いとは異なったことにより受ける被ばくのことである。法令に定められた線量限度の超過の有無にかかわらず、被ばくがあった時をいう。

C、D： ^{192}Ir は、物理的半減期73.8日で約95%が β^- 壊変、約5%がEC壊変する放射性核種であり、非破壊検査やRALS用 ^{192}Ir 密封小線源として利用されている。

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ー現場必備！教育訓練テキストー
54~56 ページ

E、F、G、H：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。Iの結果より実効線量は5.6 mSvとなり、計画外の被ばくが5 mSvを超えるため報告の必要がある。

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－58～59、100～101 ページ；8版 密封線源の基礎－第2種第3種放射線取扱主任者のために 257～258 ページ

$$\begin{aligned} I: \text{実効線量} &= 370 \times 10^3 [\text{MBq}] \times 0.5 [\text{h}] \times \frac{1}{2^2} [\text{m}^{-2}] \times 0.12 [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \\ &= 5.55 [\text{mSv}] \\ &\cong 5.6 [\text{mSv}] \end{aligned}$$

J：造血系は生体内で最も放射線に対する感受性が高い組織であり、約0.5 Gyの放射線を一度に受けると末梢血中で白血球が減少することが知られている。今回の被ばくでは、末梢血液中の血球数等については何の変化もないと想定される。

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－73 ページ

K：事業者の実態に合わせた安全管理を確実に実施するため、放射線障害の防止のためのルールや基準等を自ら作成するのが放射線障害予防規程である。予防規程に定める18項目の中に、教育及び訓練に関すること、が含まれている。

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－98～99 ページ

L：RIで予定している実験を、RIのみを用いずに全く同じ環境で行うことをコールドランと呼ぶ。これを事前に行うことで、RI実験（ホットラン）をスムーズに行える。

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－38～39 ページ

II ^{90}Sr 密封線源の所在不明事例が過去に報告されている。 $\boxed{\text{D}}$ 線源では $\boxed{\text{M}}$ 線による全身への外部被ばく、及び $\boxed{\text{D}}$ 線による $\boxed{\text{N}}$ への外部被ばくが問題となる。被ばく線量を線量限度と比較するときは、全身への被ばくに対しては実効線量が、 $\boxed{\text{N}}$ への被ばくに対しては $\boxed{\text{O}}$ 線量が評価される。電子線のエネルギーが $\boxed{\text{M}}$ 線のエネルギーに変わる割合は、電子線エネルギーのおおよそ $\boxed{\text{P}}$ 乗に比例し、遮蔽物質の原子番号のおおよそ $\boxed{\text{Q}}$ 乗に比例する。したがって、 ^{90}Sr 密封線源から放出される $\boxed{\text{M}}$ 線には $\boxed{\text{R}}$ の $\boxed{\text{D}}$ 線の減速過程で発生したものが多く含まれる可能性がある。

ある事業所で、 ^{90}Sr 密封線源が所在不明となり、1週間後に事業所敷地内で2 cm厚さの亚克力容器に収納された状態のまま発見されたとする。環境への影響の有無を判断するために、発見後速やかに線源の破損がないことを確認するとともに、線源周囲の表面汚染検査を行い、表面汚染の有無を確認する。線源の破損がなく表面汚染がなかった場合、環境への影響はなかったと判断できる。また、従業員ほかへの被ばくの有無を判断するために、所在不明期間に線源に近づいた可能性

(令和6年度) 第2種実務

のある者全員に聞き取り調査を行い、線源へ近づき得た最短距離と滞在時間を特定する。その距離で S 率を、 T 式サーベイメータにより測定し、その値が自然放射線の変動の範囲であることが確認された場合、従業員ほかへの被ばくはなかったと判断できる。

<M~O の解答群>

- | | | |
|-------------|------------|--------|
| 1 β^+ | 2 γ | 3 散乱 |
| 4 消滅放射 | 5 制動放射 | 6 特性 X |
| 7 気管支 | 8 甲状腺 | 9 生殖腺 |
| 10 皮膚や眼の水晶体 | 11 赤色骨髄 | 12 吸収 |
| 13 照射 | 14 実効 | 15 等価 |

<P、Q の解答群>

- | | | | | |
|------|--------|-------|--------|-------|
| 1 -2 | 2 -1.5 | 3 -1 | 4 -0.5 | 5 0.5 |
| 6 1 | 7 2 | 8 2.5 | 9 3 | 10 5 |

<R の解答群>

- | | | | | |
|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 1 ^{90}Kr | 2 ^{90}Rb | 3 ^{90}Y | 4 ^{90}Zr | 5 ^{90}Nb |
| 6 ^{90}Mo | | | | |

<S、T の解答群>

- | | | |
|-------------------------|-------------------|--------------|
| 1 NaI(Tl)シンチレーション | 2 ZnS(Ag)シンチレーション | 3 ガスフロー比例計数管 |
| 4 プラスチックシンチレーション | 5 電離箱 | 6 端窓型 GM 計数管 |
| 7 70 μm 線量当量 | 8 1cm 線量当量 | 9 空気カーマ |
| 10 個人線量当量 | 11 実効線量 | 12 照射線量 |

[解答] II M-5 N-10 O-15 P-6 Q-6 R-3 S-8 T-1

[解説]

M、N： ^{90}Sr は物理的半減期 28.8 年の放射性核種であり、 β^- 線を出して崩壊し子孫核種の ^{90}Y に変わる。 ^{90}Y は半減期が 64.0 時間で、 β^- 線を出して崩壊し安定な ^{90}Zr になる。制動放射とは、荷電粒子が電場によって加速度を受けたときに放出する電磁波やその放射過程をいう。 β^- 線のエネルギーが高い場合には制動放射によるエネルギー損失の割合が増えてくる。 β^- 線源では、制動放射線による全身への外部被ばくと、皮膚や眼の水晶体への外部被ばくが問題となる。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱いー現場必備！教育訓練テキストー 18、23 ページ

O：等価線量は臓器や組織が吸収した線量に対し、放射線加重係数を乗じて、放射線の種類による生物学的効果の違いを考慮した放射線量のことをいう。

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ー現場必備！教育訓練テキストー 22 ページ

P、Q：電子線のエネルギーが制動放射線のエネルギーに変わる割合は、電子のエネルギーに比例し、衝突物質の原子番号にほぼ比例する。

R： ^{90}Sr は β^- 線を出して崩壊し子孫核種の ^{90}Y に変わる。 ^{90}Y は β^- 線を出して崩壊し安定な ^{90}Zr に

なる。 ^{90}Sr 密封線源から放出される制動放射線には、 ^{90}Y の β^- 線の減速過程で発生したものが多く含まれる。

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ー現場必備！教育訓練テキストー
17、18 ページ：8 版 密封線源の基礎ー第2種第3種放射線取扱主任者のために 131 ページ

S：サーベイメータを用いて、1 cm 線量当量率[Sv/h]を測定する。1 cm 線量当量は、外部被ばくによる実効線量を測定・評価するために用いられる。

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ー現場必備！教育訓練テキストー
52 ページ

T：NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータは、 γ 線に高い感度を有する。固体シンチレータのため感度は最も高く、100 nSv/h 以下の自然界のバックグラウンドも測定可能である。1 cm 線量当量率が表示され、測定器のエネルギー特性を 1 cm 線量当量に合わせたものであれば、 $\mu\text{Sv/h}$ の線量測定をより正しく行うことが可能である。

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ー現場必備！教育訓練テキストー
24～26 ページ