

令和 4 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。

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 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 計画被ばく状況、緊急時被ばく状況、現存被ばく状況を区別している。
- B 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、すべての被ばく状況に適用される。
- C 線量限度は患者の医療被ばくにも適用される。
- D ほとんどのラドン被ばくは現存被ばく状況である。
- E 環境の放射線防護についてのアプローチを含む。

1 ABCのみ 2 ACEのみ 3 ADEのみ 4 BCDのみ 5 BDEのみ

〔解答〕3

〔解説〕

- A：正 ICRPは、2007年勧告が全ての線源及び、全ての考えうる事情を扱う状況を計画被ばく状況、緊急時被ばく状況、現存被ばく状況の3タイプに分け、放射線に被ばくする個人に適応されるようにしている。また医療被ばくは計画被ばく状況に分類されるが、被ばくの性質上別に議論される。
- B：誤 3つの基本原則のうち、正当化と防護の最適化については、全ての被ばく状況に適応されるが、線量限度の適用は計画被ばく状況に対して適応される。
- C：誤 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：正 現存被ばく状況は、緊急時以外で長期的な被ばく状況を含んでおり、環境中に存在する放射性物質からの被ばくを含んでいる。住居内又は作業場内のラドン、及び自然起源の放射性物質はよく知られた事例である。
- E：正 現存被ばく状況には、放射性放出物に由来する環境中の残渣、事故や放射線事象によって汚染された土地からのような、現存の人為的被ばく状況に関して放射線防護の決定を行うことも触れられている。

参考：ICRP Publication103 国際放射線防護委員会の2007年勧告，日本アイソトープ協会，丸善

問2 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 1 cm 線量当量は防護量である。
- B 預託実効線量は実用量である。
- C とともに単位はシーベルトである。
- D 実用量は、防護量を安全側に評価することを目的とした測定可能な量である。
- E とともにエリアモニタリングと個人モニタリングそれぞれを目的とした量が定義されている。

る。

- 1 AとD 2 AとE 3 BとC 4 BとE 5 CとD

〔解答〕5

〔解説〕人体に関する防護量である等価線量と実効線量は、実際には測定できない。従って、実効線量又は組織・臓器の平均等価線量の評価には実用量が用いられる。実用量は、防護量の保守的指標を与えるものであり、物理量を基に計算される値であるが、測定器の値から算出することもでき、1 cm 線量当量や 70 μ m 線量当量などがある。また防護量、実用量ともに単位はシーベルトが用いられる。

問3 作業管理あるいは作業環境管理のために設定される次のA～Cの参考レベルについて、通常設定される値の大きい順に並んでいるものはどれか。

A 介入レベル

B 記録レベル

C 調査レベル

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

〔解答〕1

〔解説〕作業管理や、作業環境管理のために設定される参考レベルには、次の各レベルがある。

記録レベル：それを超えたらその結果が記録され、それより低い値は無視される。

調査レベル：それを超えたらその結果の原因又は意味合いが調査されるべき。

介入レベル：それを超えたらある救済措置が考慮されるべき。

よってA>C>Bとなり、1が正解となる。

参考：ICRP Publication60 国際放射線防護委員会の1990年勧告，日本アイソトープ協会，丸善

問4 分解時間 200 μ s の GM 管式サーベイメータの指示値が 30,000 cpm であった。このとき、数え落とし補正後の計数率[cps]として、最も近い値は次のうちどれか。

- 1 472 2 500 3 528 4 556 5 584

〔解答〕4

〔解説〕GM 管式サーベイメータの数え落としの補正式は、分解時間を τ 、計測された計数率を n 、真の計数率を n_0 とすると、

$$n_0 = \frac{n}{1 - n\tau}$$

で与えられる。

計測された指示値が 30,000 cpm であるので、1 秒では 500 cps となる。

補正式にそれぞれの値を代入すると、

$$n_0 = \frac{500}{1 - 500 \times 200 \times 10^{-6}} = 555.5 \cong 556$$

となり、4 が正解となる。

問5 GM 計数管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 空気の発光を利用した気体検出器の一種である。
- B 通常は、プラトーの開始電圧より低い電圧を印加して使用する。
- C 計数ガスが消耗して放射線に全く反応しなくなることを窒息現象という。
- D 電子なだれを伴う大きなガス増幅を利用している。

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

〔解答〕4

〔解説〕GM 計数管は、放射線の電離作用を利用した計測装置の1つである。GM 計数管は印加する電圧が低いとガイガー・ミュラー領域に達しないため、パルスの高さはディスクリミネーションレベルより低くなり計測されない。このためプラトーの開始電圧より高い電圧で使用する。

また、放射線場の強度を強くしていくと、初め計数率は強度に比例して高くなるが、ある程度で分解時間のため比例しなくなり、さらに強度を上げると、イオンのさやが取り除かれる暇が無くなり、逆に計数率は下がっていく。これを窒息現象という。

問6 高純度 Ge 半導体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 α 線スペクトルを測定することはできない。
- B 検出器が冷却されていない状態で高電圧をかけると、Ge 結晶が損傷する。
- C 測定する γ 線のエネルギーが高いほど、相対エネルギー分解能が良くなる。
- D ^{137}Cs 線源を測定すると、151 keV 付近にシングルエスケープピークが観測される。

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

〔解答〕2

〔解説〕

A：正 α 線スペクトルの測定には Si 半導体検出器が利用される。

B：誤 ゲルマニウムのバンドギャップは狭いため、高純度 Ge 半導体検出器 (HPGe) は高いエネルギー分解能をもつ。その反面、そのバンドギャップの狭さから室温では熱励起に

よる雑音が多く発生するので、これを防ぐために冷却を必要とする。

冷却をせずに室温で HPGe へ高電圧を印加すると、Ge 結晶からの大きな漏れ電流により Ge 結晶とともにクライオスタット内に収められている前置増幅器(FET)が破壊される。市販の多くの HPGe では、冷却がされていない状況で高電圧が印加されないような機構を備えている。

C：正 あるエネルギーでの検出器の相対エネルギー分解能 $R(E)$ は

$$R(E) = \frac{FWHM(E)}{E}$$

となる。ここで、 E はエネルギー、 $FWHM(E)$ は半値全幅である。Ge 半導体検出器の $FWHM(E)$ は

$$FWHM(E) = \sqrt{a + bE}$$

であらわされる。ここで、 a は検出器に固有の値、 b は半導体元素種に固有の定数である。式をまとめて

$$R(E) = \frac{\sqrt{a + bE}}{E}$$

となる。式より、測定される γ 線のエネルギーが高いほど $R(E)$ の値は小さくなり、相対エネルギー分解能がよくなることが示される。

D：誤 ^{137}Cs を高純度 Ge 半導体検出器で測定すると、娘核種である $^{137\text{m}}\text{Ba}$ からの 662 keV の γ 線の全吸収ピークと、それより低エネルギー側でコンプトン効果による連続スペクトルやコンプトンエッジなどが見られる。

問7 ^{90}Sr から放出される β 線の検出に用いられる検出器として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 端窓型 GM 計数管
- B Ge 半導体検出器
- C ガスフロー比例計数管
- D Si 半導体検出器

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 β 線を GM 計数管で測定する場合には、薄い窓の入射窓 ($1.5 \sim 2 \text{ mg/cm}^2$) をもつ構造のものが使われる。ガス封入型のほかに、ガスを流しながら測定するガスフロー型がある。

B：誤 Ge の原子番号は高く、光電効果の確率が高いので広いエネルギー範囲の光子の測定に適している。

C：正 比例計数管は、 α 線と β 線を混合して放出する線源では、印加する電圧が低いと α 線の

みが測定され、高い印加電圧では α 線と β 線の両方が測定される。

D：正 Si は原子番号が低いので、中・高エネルギー γ 線の測定には使用されず、主に α 線や β 線、10 keV 程度以下の低エネルギー光子の測定に使用される。

参考：放射線安全管理の実践，日本アイソトープ協会，丸善，2009，45 ページ

問8 放射線業務従事者におけるパッシブ型個人線量計の取り扱い方法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 自身の放射線取扱作業の有無にかかわらず、管理区域に立ち入る際には装着する。
- B 線量計のどちらの面を線源側に向くようにして装着してもよい。
- C 鉛エプロン着用時は、その内側に装着する。
- D 自身の線量計が見当たらないときは、普段同種の作業を行っている別の業務従事者の線量計を装着する。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕2

〔解説〕

A：正 作業の有無にかかわらず、管理区域に立ち入る者に対しては外部放射線による被ばく線量当量の測定が法令で義務づけられている。

B：誤 一般的に個人線量計には、裏表があるため適切な面を線源側に向ける必要がある。

C：正 男性は胸部、女性は腹部に個人線量計を装着し、防護衣はこの線量計をつけた後に上に着る。あわせて、不均等被ばくとなる場合には、鉛エプロンに覆われていない体幹部(襟元)、最も放射線にさらされる末端部(指先)に線量計をつける。ただし、体幹部の被ばくが末端部を上回る場合は、末端部への線量計の装着を省略できることがある。

D：誤 個人の被ばく線量の測定が正確にできなくなるため、線量計は必ず自身のものを用いる。

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，2020，31 ページ

問9 試料を1.0分間測定したときのカウント数が900、バックグラウンドを1.0分間測定したときのカウント数が100のとき、正味計数率の統計誤差(標準偏差)[cpm]として、最も近い値は次のうちどれか。

1 26 2 29 3 32 4 35 5 38

〔解答〕3

〔解説〕試料及びバックグラウンドの総計数を N 及び N_b 、測定時間を t 及び t_b とすると、標準偏差 σ は次式で求められる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{N}{t^2} + \frac{N_b}{t_b^2}}$$

この式に、それぞれの式を代入すると、

$$\sigma = \sqrt{900 + 100} = \sqrt{1000} = 31.62 \cong 32$$

となり、3が正解となる。

問10 個人被ばく管理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 実効線量として、外部被ばくの線量と内部被ばくの線量とを合算する。
 - B 人体を体幹部と末端部に分けたとき、頭部は末端部に分類される。
 - C 測定が著しく困難な場合は、被ばく線量を計算により算出することができる。
 - D 妊娠を申告した女子の腹部表面の等価線量は、腹部に装着した個人線量計から得られた1 cm 線量当量の値とする。
- 1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

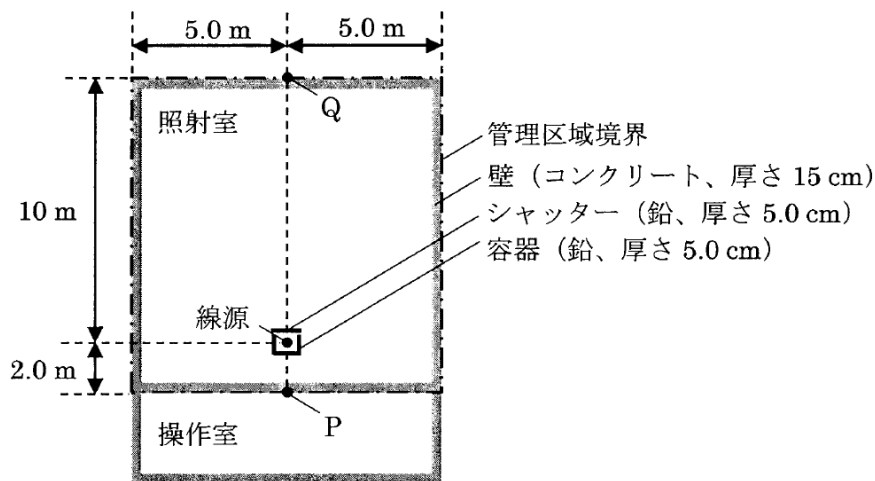
〔解答〕3

〔解説〕

- A：正 実効線量は、各臓器の等価線量を各々の放射線感受性を考慮して合算する。このため、被ばくが全身に均一、不均一に関わらず、また内部被ばく、外部被ばくを区別することなく同じ尺度で評価できる。
- B：誤 末端部には手足が含まれ、体幹部は頭頸部、胸部及び上腕部、腹部及び大腿部の3区分に分かれる。
- C：正 法施行規則第20条の第2項第一号、または、医療法施行規則第30条の18第2項第一号
- D：正 法施行規則第20条の第2項第一号、または、医療法施行規則第30条の18及び27
- 参考：放射線安全管理の実践，日本アイソトープ協会，丸善，2009，96ページ

問 11 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 ある事業所は、下図に示す γ 線照射施設において、10 GBq の ^{137}Cs 密封線源を使用することを計画している。この施設はコンクリートの壁(厚さ 15 cm)で囲われており、また、同じ厚さのコンクリート壁によって照射室と操作室の2部屋に分けられている。管理区域は照射室のみに設定されており、管理区域の境界は、照射室のコンクリート壁の外側面(図の一点鎖線)である。線源は、鉛製シャッターの付いた鉛容器(シャッター及び容器の鉛の厚さ 5.0 cm)の中に保管されており、シャッターの開閉は操作室から遠隔操作によって行われる。鉛容器の照射孔は Q 点の方向に向いており、 γ 線ビームは十分にコリメートされ、水平に照射される。照射室内に人がいるときに、照射が行われることはない。また、線源から 0.50 m まで人が近づくことのできる構造である(下図では省略)。



照射施設の平面図

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月間の最大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 [$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]	実効線量透過率	
		鉛 (厚さ 5.0 cm)	コンクリート (厚さ 15 cm)
^{137}Cs	7.8×10^{-2}	5.6×10^{-3}	4.2×10^{-1}

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。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。

る。

照射室内の人が常時立ち入る場所における1時間当たりの最大実効線量(評価点は線源から0.50 m離れた場所で線源は保管された状態)を評価すると、 $\boxed{A}$ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ となる。この値から算定した1週間当たりの実効線量は、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。次に、管理区域境界の実効線量について評価する。管理区域境界のP点(線源からの距離2.0 m)における1時間当たりの実効線量は、線源使用時、線源保管時ともに $\boxed{B}$ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ となる。したがって、3月間の実効線量は $\boxed{C}$ mSvと算定され、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。一方、管理区域境界のQ点(線源からの距離10 m)における1時間当たりの実効線量は、線源使用時 $\boxed{D}$ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 、線源保管時 $\boxed{E}$ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ となる。このことにより、Q点における3月間の実効線量が $\boxed{\text{イ}}$ mSvを超えないようにするためには、線源の使用時間を3月間当たり $\boxed{\text{ウ}}$ 時間以下に制限する必要がある。なお、事業所の境界までは十分な距離があり、法令で定める事業所の境界に係る実効線量の線量限度である3月間につき $\boxed{\text{エ}}$ μSv を超えることはないものとする。

<A～Cの解答群>

- 1 2.7×10^{-2} 2 6.3×10^{-2} 3 2.3×10^{-1} 4 4.6×10^{-1} 5 1.2×10^0
6 7.3×10^0 7 1.8×10^1 8 5.4×10^1

<ア～エの解答群>

- 1 0.1 2 0.3 3 1 4 1.3 5 5
6 10 7 20 8 50 9 100 10 250
11 290 12 340 13 390 14 440 15 500

<D、Eの解答群>

- 1 1.9×10^2 2 3.0×10^{-2} 3 4.2×10^{-1} 4 8.3×10^{-1} 5 3.3×10^0
6 9.5×10^0 7 2.6×10^1 8 5.1×10^1

[解答] I A—7 B—4 C—3 ア—3 イ—4 ウ—13 エ—10 D—5 E—1

[解説]

A: 10 GBq の¹³⁷Cs 密封線源を使用し、0.5 m離れた場所で線源は保管された状態(シャッターあり)であることを考慮して計算する。数値は切り上げとする。

$$\begin{aligned} & 7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{MBq})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 10000 [\text{MBq}] \times \frac{1}{0.5^2} [\text{m}^{-2}] \times 5.6 \times 10^{-3} \\ & = 17.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cong 1.8 \times 10^1 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

ア: 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, 87 ページ

B: 管理区域境界のP点は線源から2.0 mの距離にあり、容器(鉛、厚さ5.0 cm)と壁(コン

クリート、厚さ 15 cm) の遮へい体があることを考慮して計算する。

$$\begin{aligned} & 7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{MBq})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 10000 [\text{MBq}] \times \frac{1}{2.0^2} [\text{m}^{-2}] \times 5.6 \times 10^{-3} \times 4.2 \times 10^{-1} \\ & = 0.46 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} = 4.6 \times 10^{-1} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

C : B の結果を用いて、3 月間の評価時間を 500 時間として計算する。

$$4.6 \times 10^{-1} [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}] \times 500 [\text{h}] = 230 \mu\text{Sv} = 2.3 \times 10^{-1} \text{mSv}$$

イ : 法令で定める管理区域境界の実効線量は 1.3 mSv/3 月である。

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，2020，87 ページ

D : 管理区域境界 Q 点における線源使用時の実効線量は、線源からの距離 10 m と壁（コンクリート、厚さ 15 cm）の遮へい体があることを考慮して計算する。

$$\begin{aligned} & 7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{MBq})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 10000 [\text{MBq}] \times \frac{1}{10^2} [\text{m}^{-2}] \times 4.2 \times 10^{-1} \\ & = 3.3 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} = 3.3 \times 10^0 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

E : 管理区域境界 Q 点における線源保管時の実効線量は、線源からの距離 10 m、シャッター（鉛、厚さ 5.0 cm）と壁（コンクリート、厚さ 15 cm）の遮へい体があることを考慮して計算する。

$$\begin{aligned} & 7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{MBq})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 10000 [\text{MBq}] \times \frac{1}{10^2} [\text{m}^{-2}] \times 5.6 \times 10^{-3} \times 4.2 \times 10^{-1} \\ & = 0.0183 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cong 1.9 \times 10^{-2} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

線量計算では、過小評価は法令違反となるおそれがあるため、数値は切り上げとする。

ウ : 法令で定める管理区域境界の実効線量は 1.3 mSv/3 月を超えないようにするためには、線源使用時の実効線量（D の計算結果）と線源保管時の実効線量（E の計算結果）を用いて計算する。

$$\begin{aligned} & 3.3 \times 10^0 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}] t + 1.9 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}] (500 - t) = 1300 [\mu\text{Sv}/3\text{month}] \\ & t = 396.25 \text{ h} \cong 390 \text{ h} \end{aligned}$$

1.3 mSv を超えるおそれのないように、数値は切り下げとする。

エ : 法令で定める事業所境界の線量限度は 250 $\mu\text{Sv}/3$ 月である。

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，2020，87 ページ

II この事業所では、作業者の外部被ばく線量の測定に、OSL 線量計を使用している。また、管理区域等における線量率の測定に電離箱式サーベイメータ及び NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータを使用している。

OSL 線量計では、F が検出素子として用いられている。放射線照射により生じた一部のG は結晶の格子欠陥に捕捉され、準安定状態となる。この状態でH を受けると捕捉されたG は再励起されてI と再結合しJ を発する。OSL 線量計では、この現象を利用して

積算線量が読み出される。OSL 線量計の特徴の 1 つとして、フィルムバッジや TLD と比べ、K が小さいことが挙げられる。

電離箱式サーベイメータでは、電離箱の有感領域で生成される L による電流を測定することにより、線量率が測定される。この L は、主として、入射 $\gamma(X)$ 線と M との相互作用で発生する二次電子により生成されたものである。

NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータでは、シンチレータ内で、個々の入射 $\gamma(X)$ 線によって作られるすべての二次電子のエネルギーにほぼ比例する強度の N が発生する。その N は O などにより電気信号に変換され出力される。NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータは、その動作原理から、電離箱式サーベイメータに比べ、P の面で劣っているが、近年、こうした短所を改善する様々な技術開発が行われている。

<F、G の解答群>

- 1 $\text{CaSO}_4\cdot\text{Tm}$ 2 LiF:Mg 3 $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ 4 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ 5 $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_7$
6 陰イオン 7 陽イオン 8 電子 9 ホール

<H～J の解答群>

- 1 加熱昇温 2 電圧印加 3 光刺激 4 紫外線照射 5 陰イオン
6 陽イオン 7 電子 8 ホール 9 フォノン 10 電波
11 赤外線 12 蛍光

<K の解答群>

- 1 ノイズ 2 フェーディング 3 ビルドアップ 4 ダイナミックレンジ

<L～N の解答群>

- 1 電子－陽電子対 2 電子－正孔対 3 共有電子対
4 電子－イオン対 5 電離箱の壁 6 電離箱内部の気体
7 電離箱周囲の空気 8 作業者の身体 9 制動放射線
10 特性 X 線 11 マイクロ波 12 蛍光

<O、P の解答群>

- 1 発光ダイオード 2 FET 3 光電子増倍管
4 エサキダイオード 5 圧電素子 6 エネルギー特性と感度
7 エネルギー特性 8 感度

〔解答〕Ⅱ F—4 G—8 H—3 I—8 J—12 K—2 L—4 M—5 N—12 O—3 P—7

〔解説〕

F：OSL（Optically Stimulated Luminescence）線量計はイメージングプレートと同じ光輝尽発光を利用している。実用化されているのは酸化アルミニウム（ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ ）をシート状にしたものである。

G, H, I, J：結晶内で放射線により伝導帯に持ち上げられた電子が格子欠陥に捕獲され、準安定状態となる。これに光を照射すると捕獲されていた電子が価電子帯に戻ると同時に蛍光を発する。

K: OSL 線量計の特徴のひとつとしてフェーディングが極めて小さいことが挙げられる。

L: 電離箱では2枚の平行に向かい合った電極に電圧を印加し、その中を荷電粒子が通過すると気体分子が電離し、電子-イオン対が生成する。

M: 電離箱式サーベイメータによる γ 線の線量測定の場合、ほとんどの二次電子は電離箱の壁との相互作用で発生する。電離箱内部の気体中の原子数に比べ、電離箱の壁を構成する原子数をはるかに大きいため、電離箱の壁との相互作用で発生する二次電子が支配的となる。

N: シンチレータに入射する γ 線によってたたき出された電子は、結晶内で電離や励起を起こす。これがもとに戻る過程で、シンチレータは吸収したエネルギーに比例した強度の蛍光(シンチレーション)を発する。 γ 線により叩き出される電子の数は、 γ 線のエネルギーが大きくなるに従い多くなるので、これに伴う蛍光の強度も比例して大きくなる。

O: シンチレータからの微弱な光を電子に変換し増幅するのが光電子増倍管である。この際、光電子増倍管からは、放射線の入射に対応するパルス的な電気信号が出力される。

P: シンチレーション式サーベイメータは電離箱式サーベイメータと比べると高感度であるが、エネルギー特性が悪い。しかし、光電子増倍管から出力されるパルスの波高はエネルギー情報を持つため、電子回路でこの特性を補正し電離箱式サーベイメータと遜色のないエネルギー特性を持つエネルギー補償型サーベイメータが市販されている。

問12 ^{60}Co 密封線源の取扱いに関する次の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 ^{60}Co は、半減期□Aで□B壊変する放射性核種である。 ^{60}Co からは、□B線の放出に引き続き、□Cの励起状態から□D MeVの2本の γ 線が、壊変当たりそれぞれおよそ100%の割合で放出される。以降の検討では、これら2本の γ 線の平均エネルギーに等しいエネルギーの1本の γ 線が、壊変当たり200%の割合で放出されると仮定する。

^{60}Co 密封線源の放射能が1.0 GBqのとき、この線源から1.0 m離れた位置の単位時間(h)当たりの γ 線フルエンス率は、約□ア $\text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ と算出される。ただし、線源周囲に空気以外の物質は無く、また、線源自身及び空気による γ 線の吸収・散乱は無視し得るものとする。次に、この γ 線フルエンス率に、 γ 線の□Eと空気の□Fとを乗ずることにより、この位置の微小領域における空気衝突カーマ率を求めることができる。空気の□Fを $2.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ 、1 MeVを $1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$ とすると、空気衝突カーマ率は約□イ $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ と算出される。

なお、ある点における空気衝突カーマ率は、□G平衡が成立する場合には、その点の□H率に等しい。

<A~Dの解答群>

- | | | | |
|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 1 73.8 日 | 2 5.27 年 | 3 30.1 年 | 4 432 年 |
| 5 α | 6 β^- | 7 β^+ | 8 ^{60}Cu |
| 9 ^{60}Fe | 10 ^{60}Ni | 11 ^{60}Zn | 12 0.12 及び 0.18 |
| 13 0.61 及び 0.79 | 14 1.17 及び 1.33 | 15 1.37 及び 1.63 | |

<ア、イの解答群>

- 1 2.0×10^{-5} 2 3.1×10^{-4} 3 4.2×10^{-3} 4 5.3×10^{-2} 5 6.4×10^{-1}
 6 2.4×10^8 7 3.5×10^9 8 4.6×10^{10} 9 5.7×10^{11} 10 6.8×10^{12}

<E、Fの解答群>

- 1 エネルギー 2 運動量 3 波長
 4 質量減弱係数 5 質量エネルギー吸収係数 6 質量阻止能
 7 線減弱係数 8 線エネルギー吸収係数 9 線阻止能

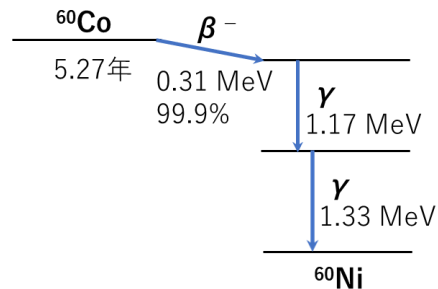
<G、Hの解答群>

- 1 放射 2 荷電粒子 3 電離 4 局所
 5 1 cm 線量当量 6 実効線量 7 空気吸収線量 8 照射線量

〔解答〕I A-2 B-6 C-10 D-14 ア-9 イ-2 E-1 F-5 G-2 H-7

〔解説〕

A～D： ^{60}Co の壊変図は、主な壊変経路について右図の通りである。 β^- 壊変により原子番号27が1つ増加して ^{60}Ni （原子番号28）に壊変する。この図から半減期、壊変様式、壊変エネルギー、放射線の放出エネルギーなどの情報が読み取れる。また、 γ 線の放出は ^{60}Ni の励起状態からの遷移によることがわかる。



ア、イ、E、F：

$$\gamma \text{ 線フルエンス率} = \frac{1.0 \times 10^9 [\text{Bq}]}{4\pi \cdot 1^2 [\text{m}^2]} \times \frac{200 (\%)}{100 (\%)} \times 3600 [\text{s} \cdot \text{h}^{-1}]$$

$$\cong 5.7 \times 10^{11} [\text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$$

注：1秒あたりの壊変数であるベクレルを1時間あたりの γ 線数に、また全方向に放出する γ 線を、線源から1メートルの距離で1平方メートルあたりの数に換算する。

空気衝突カーマ率 = γ 線フルエンス $\times$ γ 線のエネルギー $\times$ 空気の質量エネルギー吸収係数

$$5.7 \times 10^{11} [\text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}] \times \frac{1.17 + 1.33}{2} [\text{MeV}] \times 1.6 \times 10^{-13} [\text{J} \cdot \text{MeV}^{-1}] \times 2.7 \times 10^{-3} [\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}]$$

$$\cong 3.1 \times 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} = 3.1 \times 10^{-4} \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$$

G、H：放射線は照射された範囲およびその近傍の空気などで二次電子を生成するので、線量評価対象領域外部で発生した二次電子がその領域に入り付与するエネルギーと、対象領域内で発生した二次（荷電粒子）電子が領域外まで移動した後に失うエネルギーのバランスが異なると、その領域における空気吸収線量は変わり得る。空気衝突カーマ率は、評価領域に入ってくる二次電子と出て行く二次電子が等しい場合（＝荷電粒子（二次電子）平衡）に空気吸収線量と等しい。

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, 21~22 ページ

II 20 GBq の ^{60}Co 密封線源を用いた γ 線照射装置を所持している事業所がある。この装置では、遠隔操作により線源の収納容器からの出し入れが行われる。

本事業所で、起こり得るトラブルへの備えとして、線源が収納容器に収納できなくなるという事態を想定し、作業員自身により線源を容器に収納する対処法について検討した。検討に際しては、外部被ばくの防護の3原則「**I**、遮蔽」を考慮した。具体的な作業手順については、事前に、線源部分を模擬したもの等による**J**を行い、確実に作業できることを確認することとした。なお、被ばく線量をモニタリングするため、作業員(男子)は、蛍光ガラス線量計を基本装着部位である**K**に装着するとともに、警報機能付き電子式個人線量計を装着することとした。また、空間の線量率をモニタリングするため、**L**式サーベイメータを携帯することとした。ある作業について行った被ばく線量の評価の手順を、下記の(1)から(3)に示す。

- (1) 収納作業では、線源と体幹部との最短距離が 0.60 m、線源と手指との最短距離が 0.30 m となり、作業時間は最長で 3.0 分になると想定した。
- (2) 作業員の実効線量は、線源に最も近くなる体幹部の位置について、実効線量の実用量である**M**線量当量で評価した。 ^{60}Co の**M**線量当量率定数の値を $0.36 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ として計算し、**M**線量当量は、最大**ウ** mSv になると評価した。この値は、法令に定める放射線業務従事者の線量限度である 4 月 1 日を始期とする 1 年間につき**エ** mSv よりも低く、また、計画外の被ばくがあったときに原子力規制委員会に報告する必要のある線量**オ** mSv よりも低い。
- (3) 手指の皮膚の等価線量は、線源に最も近くなる手指の位置について、皮膚の等価線量の実用量である**N**線量当量で評価し、法令に定める皮膚の等価線量限度を下回る値であることを確認した。なお、**N**線量当量については、**M**線量当量率定数のような実用的な定数がないので、 ^{60}Co の γ 線に対して、同じ場所における**N**線量当量率は、**M**線量当量率のおおよそ**カ**倍であることを利用した。

<Iの解答群>

- 1 距離、分散 2 隔離、集中 3 時間、距離 4 除去、隔離 5 集中、時間

<J、Kの解答群>

- 1 コールドラン 2 ヒアリング 3 ホットラン 4 モニタリング 5 胸部か腹部
6 手指 7 腹部 8 胸部

<Lの解答群>

- 1 NaI(Tl)シンチレーション 2 GM 計数管 3 電離箱
4 ZnS(Ag)シンチレーション 5 ^3He 比例計数管 6 Si 半導体検出器

<M、Nの解答群>

- 1 70 μm 2 1 mm 3 3 mm 4 1 cm 5 5 cm

<ウ～オの解答群>

- 1 0.5 2 1 3 2 4 3 5 5

6 7 7 10 8 20 9 30 10 50
<カの解答群>

1 0.1 2 0.3 3 1.0 4 3.0 5 10

[解答] II I-3 J-1 K-8 L-3 M-4 N-1 ウ-2 エ-10 オ-5 カ-3

[解説]

I：外部被ばくの防護の3原則は「時間・距離・遮蔽」である。

J：コールドランとはRIを用いた実験に先立ち全く同じ実験をRIなしで行うことである。

K：個人被ばく線量計は、男性は胸部、女性は腹部に着用する。

L：ここで取り扱う20 GBqの ^{60}Co の空間線量率はウの計算結果より、作業を行う0.6 mの距離でも $20 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ となる。このような $30 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ を超える高い空間線量測定には電離箱式サーベイメータが必要である。低線量であればその他の検出器も利用可能である。

M、N：全身均等被ばくの場合には、所定の場所に装着された個人被ばく線量計により測定された1 cm線量当量の値を実効線量とする。また、眼の水晶体の等価線量に3 mm線量当量に対応し、皮膚の等価線量に70 μm 線量当量に対応する。

ウ：最大1 cm線量当量 $=0.36[\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times \frac{1}{(0.6)^2} [\text{m}^{-2}] \times 20000 [\text{MBq}] \times 0.05 [\text{h}]$

$$= 1000 \mu\text{Sv} = 1 \text{ mSv}$$

エ：放射線作業従事者の1年間の被ばく限度は50 mSv、5年間では100 mSvである。(数量告示第5条、電離則第5条)

オ：計画外被ばくの法令報告義務は、放射線作業従事者は5 mSv、それ以外は0.5 mSvを超えた場合である。(RI規制法施行規則第28条の3)

カ：エネルギーの高い γ 線の場合、1 cm線量当量率 $\doteq$ 3 mm線量当量率 $\doteq$ 70 μm 線量当量率である。

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 現場必携！教育訓練テキスト，日本アイソトープ協会，丸善，2020，26～31ページ，