

令和 3 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。

問 1 GM 管式サーベイメータに関する次の 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 GM 計数管は、電離箱や比例計数管と同様に放射線の電離作用を利用したガス入り検出器であり、一般的に放射線のエネルギー情報は得られないが、放射線の数を手便に計測できる。図 1 に示すように、最初に入射した荷電粒子によりガイガー放電が起こり、大きなパルス信号が発生する。この放電により陽極線近傍に生成した陽イオンが陽極線全体を覆って電界を弱めるため、このときに次の荷電粒子が入射しても信号のパルス波高が計測可能レベルに達しない。その後、陽イオンが陰極に向かって移動するとともに電界も徐々に回復し、陽イオンが陰極に到達すると本来のパルス波高に戻る。図 1 に示すように、一定の時間が経過するとパルス波高が計測可能レベルを超える。この時間を GM 計数管の□A□という。通常使用する GM 計数管の□A□は、 $100\ \mu\text{s}$ 程度と比較的長いため、パルス計数率が増加すると数え落とし補正が必要となる。例えば、□A□が $100\ \mu\text{s}$ で計数率が 1,000 cps のとき、数え落とし補正後の計数率は、□ア□cps となる。

表面汚染測定に用いる円筒端窓型の GM 管式サーベイメータでは、 β 線測定用の入射窓の材料として□B□を用い、その厚さは $2\sim 3\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 程度である。この窓の厚さは、最大エネルギーが数十 keV である β 線の最大飛程に相当しているため、 β 線の最大エネルギーが 0.019MeV の□C□は測定できない。一方、 β 線の最大エネルギーが 0.157MeV の□D□は測定可能な限界に近く、最大エネルギーがより大きい ^{36}Cl 、 ^{131}I および ^{32}P などの核種が測定対象となる。

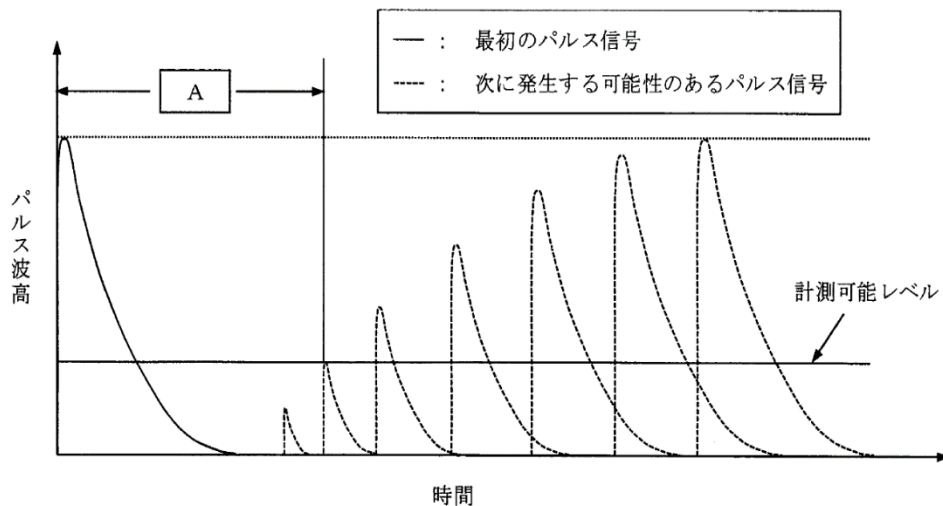


図1

<Aの解答群>

- | | | | |
|-----------|----------|----------|--------|
| 1 分解時間 | 2 飽和時間 | 3 回復時間 | 4 倍加時間 |
| 5 数え落とし時間 | 6 立ち上り時間 | 7 ライブタイム | 8 放電時間 |

<アの解答群>

- | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 900 | 2 950 | 3 1,000 | 4 1,050 | 5 1,100 |
| 6 1,150 | 7 1,200 | 8 1,250 | | |

<B の解答群>

- 1 鉄 2 銅 3 ゲルマニウム 4 鉛
5 マイカ 6 ミューメタル 7 ポリカーボネート

<C、D の解答群>

- 1 ^3H 2 ^{14}C 3 ^{24}Na 4 ^{28}Al 5 ^{40}K
6 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 7 ^{147}Pm 8 ^{204}Tl

〔解答〕 I A-1 ア-5 B-5 C-1 D-2

〔解説〕

A～B：放射線が入射しても放電が起こらず出力パルスが生じない時間のことは不感時間と呼ぶ。

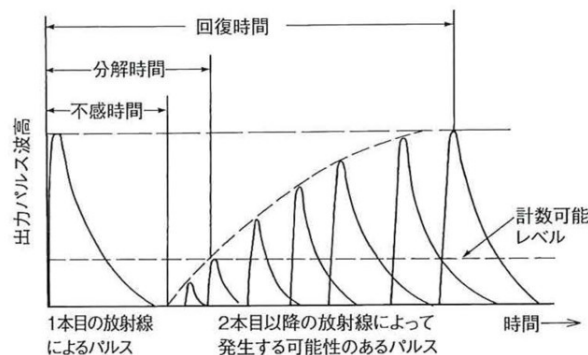


図. GM 計数管の検出パルスにおける不感・分解・回復時間
(9 版 「放射線取扱の基礎」より)

C～D：GM 計数管では検出することが困難な代表的な核種は、0.0186 MeV の β 線のみを放出する ^3H 、及び 0.157 MeV の β 線のみを放出する ^{14}C である。

ア：GM 計数管において分解時間が τ 、得られた計数率が n であるとき、真の計数 n_0 は次の補正式により求めることができる。

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

$\tau = 100 \text{ ms}$, $n = 1,000 \text{ cps}$ であるから、

$$n_0 = \frac{1,000}{1 - 1,000 \times (100 \times 10^{-6})} = \frac{1,000}{1 - 0.1} \approx 1,100 \text{ cps}$$

II β 線の表面汚染検査に用いる測定器の校正では、測定器の入射窓の面積より大きい面線源を用い、面間の標準的な距離を 5 mm とする。表面汚染の測定では、GM 管式サーベイメータで得られる正味の計数率 $m[\text{s}^{-1}]$ から表面汚染密度 $R[\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}]$ を次の式(1)に従って計算する。

$$R = \frac{m}{W \varepsilon_i \varepsilon_s} \quad (1)$$

ただし、

W : GM 計数管の β 粒子の入射窓面積[cm²]

ε_i : β 粒子に対する機器効率(線源からの β 粒子表面放出率に対する計数率の比)

ε_s : β 粒子に対する線源効率(線源の β 粒子生成率に対する表面放出率の比)

また、1 壊変当たりに生成する β 粒子の数を 1 とする。標準面線源によるサーベイメータの校正により、機器効率 ε_i を次の式(2)から計算する。

$$\varepsilon_i = \frac{n}{E_{sc}W} \quad (2)$$

ただし、

n : GM 管式サーベイメータの標準面線源に対する正味の計数率[s⁻¹]

E_{sc} : 標準面線源の単位面積当たりの β 粒子表面放出率[cm⁻²・s⁻¹]

とする。

GM 管式サーベイメータの機器効率 ε_i を決定するために、 β 粒子表面放出率が $600 \pm 30 \text{ s}^{-1}$ である ³⁶Cl 標準面線源による校正を行い、正味の計数率として $36.0 \pm 1.2 \text{ s}^{-1}$ が得られた。標準面線源の面積が 150 cm² で、測定器の入射窓面積が 20 cm² のとき、機器効率 ε_i は、 $0.45 \pm \boxed{\text{イ}}$ となる。

この校正された GM 管式サーベイメータで、³⁶Cl で汚染した床面を校正と同じ条件で測定したとき、正味の計数率として 480 cpm が得られた。線源効率を 0.4 とすると、表面汚染密度 R は、 $\boxed{\text{ウ}}$ Bq・cm⁻² となる。

<イの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|
| 1 | 0.01 | 2 | 0.02 | 3 | 0.03 | 4 | 0.04 | 5 | 0.05 |
| 6 | 0.06 | 7 | 0.07 | 8 | 0.08 | | | | |

<ウの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|
| 1 | 2.0 | 2 | 2.2 | 3 | 2.4 | 4 | 2.6 | 5 | 2.8 |
| 6 | 3.0 | 7 | 3.2 | 8 | 3.4 | | | | |

〔解答〕Ⅱ イー3 ウー2

〔解説〕

イ：式(2)において、

$$E_{sc} = \frac{600 \pm 30}{150} = 4.0 \pm 0.2 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

誤差の伝播式(除法)より、

$$\frac{n}{E_{sc}} = \frac{36.0 \pm 1.2}{4.0 \pm 0.2} = 9.0 \pm 9.0 \times \sqrt{\left(\frac{1.2}{36.0}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{4}\right)^2} \approx 9.0 \pm 0.6 \text{ cm}^2$$

$$\therefore \varepsilon_i = \frac{n}{E_{sc}W} = \frac{9.0 \pm 0.6}{20} = 0.45 \pm 0.03$$

ウ：式(1)において、

$$m = \frac{480}{60} = 8 \text{ s}^{-1}$$

$$\therefore R = \frac{8}{20 \times 0.45 \times 0.4} \approx 2.2 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$$

III 図2に標準面線源を用いてGM管式サーベイメータを校正するときの概念図を示す。GM計数管の入射窓の面積より大きい面線源を用い、その面間隔を近づけて平行に配置する。標準面線源の校正証明書から線源効率 ε_s が決まり、標準面線源によるサーベイメータの校正によりその機器効率 ε_i が求まる。図2中の $q_1 \sim q_6$ は、線源から生成される全 β 粒子を6種類の異なる相互作用のタイプに分類したときの各 β 線生成率 $[\text{s}^{-1}]$ を示す。また各タイプの β 粒子の動きを簡略化した1つの線で表示している。以下に6種類のタイプの概要を示す。

タイプ1：計数管の入射窓に直接入射する β 粒子で、生成率は q_1

タイプ2：パッキング材等での後方散乱を経て入射窓に入射する β 粒子で、生成率は q_2

タイプ3：面線源から計数管側の立体角 2π 方向に放出されるが、空気の吸収によって計数管の入射窓まで到達しない β 粒子で、生成率は q_3

タイプ4：面線源から計数管側の立体角 2π 方向に放出されるが、自己吸収で線源から放出されない β 粒子で、生成率は q_4

タイプ5：面線源から計数管側の立体角 2π 方向に放出されるが、幾何学的条件から計数管の入射窓に入射しない β 粒子で、生成率は q_5

タイプ6：計数管と反対側の立体角 2π 方向に向かって放出されるすべての β 粒子で、タイプ2以外の後方散乱 β 粒子を含み、生成率は q_6

1壊変当たり1個の β 粒子が生成されるとき、面線源の放射能 $A[\text{Bq}]$ は、 $q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$ と表せる。図2より、面線源から計数管側へ放出される β 粒子の表面放出率 $[\text{s}^{-1}]$ は、 $q_1 + q_2 + q_3 + q_5$ と表せるので、線源効率 ε_s は、(1)式の定義より E となる。また、GM管式サーベイメータの正味の計数率を $n[\text{s}^{-1}]$ とすると、機器効率 ε_i は、F となる。以上の結果より、機器効率と線源効率の積($\varepsilon_i \times \varepsilon_s$)は、G と表すことができる。

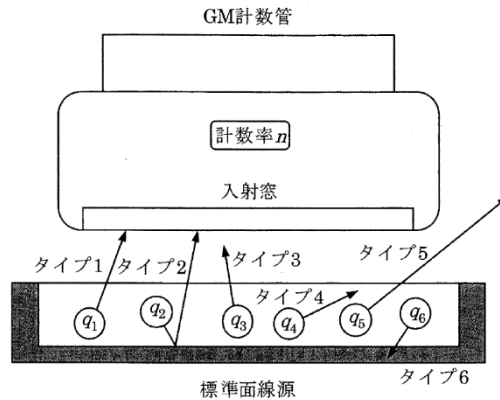


図2

<E～Gの解答群>

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| 1 $\frac{n}{A}$ | 2 $\frac{n}{q_1 + q_2}$ | 3 $\frac{q_1}{A}$ |
| 4 $\frac{q_1 + q_2}{A}$ | 5 $\frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_5}{A}$ | 6 $\frac{q_3 + q_4 + q_5 + q_6}{A}$ |
| 7 $\frac{A}{q_1 + q_2 + q_3 + q_5}$ | 8 $\frac{n}{q_1 + q_2 + q_3 + q_5}$ | 9 $\frac{q_1 + q_2}{q_1 + q_2 + q_3 + q_5}$ |

〔解答〕Ⅲ E-5 F-8 G-1

〔解説〕

E：Ⅱの問題文に示されているとおり，線源効率は，線源の β 粒子生成率に対する表面放出率の比である。

F：機器効率は，線源からの β 粒子表面放出率に対する計数率の比である。

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。

放射線業務従事者の外部被ばく線量を測定するため、個人線量計が用いられる。代表的な個人線量計には、□A□ガラスを用いた蛍光ガラス線量計(RPLD)、□B□を用いた光刺激ルミネセンス線量計(OSLD)、フッ化リチウムなどを用いた熱ルミネセンス線量計(TLD)などがある。これらは、積算型の線量計であり、□C□型線量計と呼ばれる。RPLDとOSLDは、素子間のばらつきが小さい、□D□がほとんどないといった利点を有し、□ア□ μSv から10 Svの線量範囲が測定可能である。リアルタイムに線量を表示可能な線量計には、半導体検出器を用いた線量計がある。半導体検出器は、携帯電話の電波等により誤動作を起こす可能性がある。

RPLDの□A□ガラスに放射線が照射されると、生成した電子及び正孔が捕獲され蛍光中心が作られる。そこに□E□を照射するとオレンジ色の蛍光を発する。OSLDでは、放射線照射に

より電子が[F]から[G]に移動し、一部の電子は格子欠損や不純物に捕獲され、準安定状態となる。これを外部からレーザー光などの緑色光で刺激すると電子が離れて正孔と結合し、紫色の蛍光を発する。一方、TLDでは、捕獲された電子が熱により[G]に移動し、正孔と結合して可視光域の蛍光を発する。これらの蛍光を計測することにより、放射線の線量が評価できる。

X・ γ 線用個人線量計の校正を、標準場における置換法によって行う場合を考える。[H]から線量当量への変換係数を $1.20 \text{ Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}$ 、標準測定器の校正定数を 1.10、標準測定器の測定値(指示値に空気密度の違いを補正する係数を乗じた値)を 5.2 mGy 、被校正線量計の測定値を 5.1 mSv とする。この場合、被校正線量計の校正定数は[イ]と求まる。

<A、Bの解答群>

- | | | |
|------------|------------|-----------|
| 1 酸化ベリリウム | 2 酸化アルミニウム | 3 銀活性リン酸塩 |
| 4 酸化マグネシウム | 5 酸化カルシウム | 6 酸化カリウム |

<C、Dの解答群>

- | | | |
|-------------|-----------|----------|
| 1 ポジティブ | 2 ネガティブ | 3 アクティブ |
| 4 パッシブ | 5 フェーディング | 6 イレージング |
| 7 イニシャライジング | 8 クリーニング | |

<アの解答群>

- | | | | |
|-----|------|------|-------|
| 1 1 | 2 10 | 3 50 | 4 100 |
|-----|------|------|-------|

<Eの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|------|
| 1 紫外線 | 2 赤外線 | 3 マイクロ波 | 4 超短波 | 5 音波 |
| 6 熱 | | | | |

<F、Gの解答群>

- | | | | |
|-------|--------|-------|----------|
| 1 伝導帯 | 2 価電子帯 | 3 禁制帯 | 4 エネルギー帯 |
|-------|--------|-------|----------|

<Hの解答群>

- | | | | |
|---------|--------|--------|--------|
| 1 フルエンス | 2 等価線量 | 3 実効線量 | 4 照射線量 |
| 5 空気カーマ | | | |

<イの解答群>

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 0.90 | 2 0.93 | 3 1.29 | 4 1.35 | 5 1.50 |
|--------|--------|--------|--------|--------|

[解答] A-3 B-2 C-4 D-5 ア-2 E-1 F-2 G-1 H-5 イ-4

[解説]

A、E：RPLDは、銀活性リン酸塩ガラスを紫外線で刺激することによって、放射線量に応じたオレンジ色の蛍光を発する現象（RPL：ラジオフォトルミネセンス）を利用した線量計である。

B：現在、実用化されているOSLDには主に酸化アルミニウムが用いられている。ただし、酸化ベリリウムを用いたものも開発されている。

C～D：RPLD、OSLD等はパッシブ型線量計と呼ばれる。指示値の読み取りには専用の装置

が必要だが、着用時の電源が不要で、電磁波の影響を受けず、また時間が経過すると指示値が減少するフェーディング（退行）がほとんどないため、長期間の測定に向いている。なお、直接指示値を読み取ることができる電子式個人線量計はアクティブ型線量計と呼ばれる。

F～G：放射線により結晶内の電子が価電子帯から伝導体に持ち上げられた後、その一部が格子欠陥や不純物に捕獲され準安定状態となる。指示値の読み取り時にはこの結晶に光や熱による刺激を与えることで、捕獲された電子が解放され、正孔と再結合して蛍光を発する。

ア：多くのパッシブ型線量計は、測定範囲が $10\mu\text{Sv}$ から 10Sv と広い。

H：空気カーマは、 1kg の空気中で放射線により生じた全ての荷電粒子の運動エネルギーの合計で、物理量である。ICRP は、標準的な放射線場を光子に対しては空気カーマ、中性子に対してはフルエンスを用いて規定している。国内の規格においても、光子の放射線場は空気カーマを基準としている。空気カーマに変換係数を乗じることで、実用量である線量当量が求められる。

イ：空気カーマから線量当量への変換係数を $h(\text{Sv}\cdot\text{Gy}^{-1})$ 、標準測定器の校正定数を N_A 、標準測定器の測定値を $M_A(\text{mGy})$ 、被校正線量計の測定値を $M_B(\text{mSv})$ とすると、被校正線量計の校正定数 N_B は以下のように求められる。

$$N_B = \frac{h(\text{Sv}\cdot\text{Gy}^{-1}) \times N_A \times M_A(\text{mGy})}{M_B(\text{mSv})} = \frac{1.20 \times 1.10 \times 5.2}{5.1} \approx 1.35$$

問3 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。

非密封の ^{137}Cs を使用する際には、核的性質や化学的性質を理解しておくことが必要である。

^{137}Cs は半減期□ア年で β -壊変して、その 94.4% は $^{137\text{m}}\text{Ba}$ になり、残りの 5.6% は直接安定な ^{137}Ba の基底状態になる。 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ は半減期 2.55 分で□Aにより ^{137}Ba になる。この際、主に γ 線(□イ keV)を放出する。 ^{137}Cs と $^{137\text{m}}\text{Ba}$ の半減期に注目すると、 ^{137}Cs のみが存在する状態から約 30 分後に、両者は□Bとなる。

次に、非密封線源 ^{137}Cs (CsCl 水溶液) の取り扱いにおける遮蔽や外部被ばくを考える。実験はフード(ドラフト)の中で行い、線源は直接手で取り扱わずにゴム手袋を着用してピンセットやトングを用いる。作業は、ステンレス、又はプラスチックトレイにポリエチレン紙を敷いて、その中で行う。 ^{137}Cs の実効線量率定数を $0.078\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ とすると、バイアルに入った 20MBq の ^{137}Cs 線源から 50cm の距離で、遮蔽体を置かずに 5 時間作業する場合の被ばく線量は、□ウ μSv となる。作業中は、線源と作業者の間には遮蔽体として鉛の衝立をおく。線源バイアルから作業者の距離と作業時間を変えずに被ばく線量を $1/100$ にするために、線源の入ったバイアルを 1cm 厚の鉛板で遮蔽するには、鉛の半価層を 0.6cm とすると、少なくとも鉛板□エ枚が必要である。ただし、ビルドアップの影響は無視する。

実験終了後、 ^{137}Cs (CsCl 水溶液)線源バイアルの表面に汚染のないことをスミア法で確認し、バイアルを鉛製容器に入れて貯蔵室に保管する。フード内、フード近傍の床面の汚染の有無は直接法で確認する。 ^{137}Cs - $^{137\text{m}}\text{Ba}$ の汚染をガンマ線検出により行う場合に用いるサーベイメータとして、感度の高いものから低いものへ順に並べると **C** である。

床面に ^{60}Co の汚染が検出された場合には、**D** が除染剤として使われるが、 ^{137}Cs の汚染が検出された場合にはペーパータオルなどを水又はぬるま湯に浸してふき取ることにより効率的かつ確実に除染ができる。ガラス器具などの洗浄水や廃液の放射能を濃縮しないで直接測定する方法として、それらを **E** 製のマリネリ容器に入れて測定する方法がある。この方法では測定試料が Ge 検出器や NaI(Tl)シンチレーション検出器を囲むことで高い検出効率を得られる。また、作業中に誤って ^{137}Cs を経口摂取した場合には、医師の処方に従って **F** を服用して ^{137}Cs の吸収を防いで排出させやすくする。

<ア、イの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|---|------|---|-------|---|-------|---|-------|----|-------|
| 1 | 12.3 | 2 | 30.1 | 3 | 100 | 4 | 320 | 5 | 662 |
| 6 | 835 | 7 | 1,116 | 8 | 1,275 | 9 | 1,332 | 10 | 1,461 |

<A、Bの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|--------|---|------|---|------|---|------|
| 1 | 核異性体転移 | 2 | 内部転換 | 3 | 過渡平衡 | 4 | 永続平衡 |
|---|--------|---|------|---|------|---|------|

<ウ、エの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|---|----|---|----|---|----|---|----|----|----|
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 6 | 11 | 7 | 21 | 8 | 31 | 9 | 41 | 10 | 51 |

<Cの解答群>

- 1 電離箱式、NaI(Tl)シンチレーション式、GM管式
- 2 電離箱式、GM管式、NaI(Tl)シンチレーション式
- 3 NaI(Tl)シンチレーション式、GM管式、電離箱式
- 4 NaI(Tl)シンチレーション式、電離箱式、GM管式
- 5 GM管式、NaI(Tl)シンチレーション式、電離箱式
- 6 GM管式、電離箱式、NaI(Tl)シンチレーション式

<D～Fの解答群>

- | | | | |
|----|-------------|----|---------------|
| 1 | EDTA・2Na水溶液 | 2 | 過マンガン酸カリウム水溶液 |
| 3 | アセトン | 4 | ヘキサン |
| 5 | ベンゼン | 6 | 四塩化炭素 |
| 7 | アクリル | 8 | 鉄 |
| 9 | 銅 | 10 | 鉛 |
| 11 | ブルシアンブルー | 12 | メチルオレンジ |
| 13 | フェノールレッド | | |

〔解答〕 アー2 イー5 Aー1 Bー4 ウー8 エー4 Cー3 Dー1 Eー7 Fー11

〔解説〕

ア： ^{137}Ca は、半減期 30.08 年である。

イ、A： $^{137\text{m}}\text{Ba}$ は、半減期 2.55 分で核異性体転移により ^{137}Ba になる。この際、主に 662keV の γ 線を放出する。

B：親核種の半減期 (30.08 年) が娘核種に対して非常に長い場合は、娘核種の半減期 (2.55 分) の 10 倍ぐらいの時間が経過した後では、永続平衡が成立する。

ウ： $0.078[\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 20[\text{MBq}] \times 5[\text{h}] / (0.5[\text{m}])^2 = 31.2 \mu\text{Sv}$

エ：鉛板 x cm で遮へい後の被ばく線量が 1/100 であるため次式により求める。

$$\frac{1}{100} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{x}{0.6}}$$

$\log 0.01 = \log(1/2) \times x / 0.6$ ここで、 $\log(1/2) = -\log 2 \div -0.3$ とすると

$$-2 = -0.3 \times x / 0.6$$

$$x = 4$$

C： γ 線に対して、一番感度の良い (低い線量でも測定できる) サーベイメータは、NaI (TI) シンチレーションサーベイメータであり $0.01 \mu\text{Sv/h}$ 程度の線量から正確に測定できる。

GMサーベイメータは $0.1 \mu\text{Sv/h}$ ～数 100mSv/h まで測定できるが、 $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 以下では精度良く測定することはできない。電離箱サーベイメータは $1 \mu\text{Sv/h}$ 以下の線量に対する感度が低く、 $1 \mu\text{Sv/h}$ 以上で数 Sv/h といった高線量域の測定に適している。

D： ^{60}Co など遷移元素の陽イオン放射性核種の除去には、キレート形成剤が有効である。キレート形成剤には、エチレンジアミン四酢酸 (EDTA)、クエン酸、クエン酸ナトリウム、酒石酸ナトリウム、リン酸ナトリウムなどがある。

E：容器の材質が鉄や鉛など原子番号の大きい物質の場合、 γ 線の遮へい効果が大きく、試料から放出される γ 線が検出器に届かない可能性があり正確な測定が困難である。そのため、マリネリ容器はアクリルなどの材質が用いられている。

F： ^{137}Cs を摂取した場合、プルシアンブルーという薬が厚生労働省から認可されている。プルシアンブルーを服用した場合、腸管内の Cs や体内循環で腸管内に排泄された Cs を吸着し、不溶性物質として体外への排泄を促進する。

問 4 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 安全についての考え方－危険予知

1 つの重大な事故に至るには、数十件の軽微な事故、更には数百件の 事例が背景にあるという経験則があり、ハインリッヒの法則と呼ばれる。このため、事故を未然に防ぐには、平素から 事例の発見に努めることが大切であり、施設や設備にかかわる不安全状態や人にかかわる不安全行為をチェックし、業務改善の努力を行うことが必要であるとされている。不安全状態の防止対策としては、(1)地震では転倒防止、落下防止、通路確保、整理整頓などがあ

り、(2)火災では、機器、電源ケーブル、配線等の漏電防止対策、薬品の安全管理などがある。不安全行為の防止対策には、教育、訓練、マニュアルの整備などがある。

このため、改正された放射性同位元素等の規制に関する法律を踏まえて、特定許可使用者等が放射線障害予防規程を定める際には、これまでに記載されていなかった「B」の責任を明文化することで、個々人の安全意識の向上のみならず、組織としての放射線安全への取り組み体制を整備することが求められることになった。そして、業務改善の活動の方策として「C」サイクルを回すことが提唱されており、個々人の安全意識の向上のみならず、組織としての取り組み体制の整備が不可欠となっている。

<A～Cの解答群>

- | | | |
|------------|-------------|------------|
| 1 モニタリング | 2 リスクベネフィット | 3 ヒューマンエラー |
| 4 ヒヤリ・ハット | 5 マネジメント層 | 6 放射線取扱主任者 |
| 7 放射線業務従事者 | 8 一時立入者 | 9 ALARA |
| 10 PDCA | 11 INES | 12 QCQA |

〔解答〕 I A-4 B-5 C-10

〔解説〕

A：ハインリッヒの法則；労働災害の分野で事故の発生についての経験則。1件の重大事故の背後には、重大事故に至らなかった29件の軽微な事故が隠れており、さらにその背後には事故寸前だった300件の異常、いわゆるヒヤリ・ハット（ヒヤリとしたりハットとしたりする危険な状態）が隠れているというもの。

C：PDCA；Plan（計画）・Do（実行）・Check（評価）・Action（改善）の頭文字をとったもので、これら順に行い繰り返すことによって、管理業務を継続的に改善していく手法。

ALARA；As Low as Reasonably Achievable（合理的に達成可能な限り低く）の頭文字をとったもので、放射線量と放射線物質の放出量を最小限に抑えるという、放射線の安全利用における原則。

INES；International Nuclear and Radiological Event Scale（国際原子力・放射線事象評価尺度）とは、原子力発電所などの事故・トラブルについて、それが安全上どの程度のものかを表す国際的な指標。

QCQA；Quality Controls（品質管理）とQuality Assurance（品質保証）の頭文字をとって合わせたもの。

II 化学薬品の安全取扱

管理区域内の火災では、火災に伴う放射性物質の漏えいについての配慮も必要となる。火災防止の観点から、化学薬品を取り扱う際には、化学薬品の性質を理解しておくことが必要である。例えば、引火性の液体には、引火点の低い順に「D」が知られており、火気を取り扱う場合には、近くに引火点の低い液体を置かないようにする。また、「E」は空気中に放置すると発火

したり、水に触れると激しく反応して水素を発生することから、空気や水に触れないようにして保管する必要がある。鉄粉や活性炭の取扱でも発火の恐れに注意が必要である。不揮発性の油をウェスでふき取って保管すると、酸化が進み、発火することがある。単体のリンには幾つかの同素体があり、Fリンが最も発火しやすいことも理解して取り扱うことが望まれる。

<Dの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|----------|---|------|---|----------|---|----------|
| 1 | ジエチルエーテル | < | キシレン | < | ニトロベンゼン | < | アセトン |
| 2 | ジエチルエーテル | < | アセトン | < | キシレン | < | ニトロベンゼン |
| 3 | キシレン | < | アセトン | < | ジエチルエーテル | < | ニトロベンゼン |
| 4 | ニトロベンゼン | < | アセトン | < | キシレン | < | ジエチルエーテル |

<Eの解答群>

- | | | | | | |
|---|---------|---|----------|---|----------|
| 1 | 金属ナトリウム | 2 | 酸化マグネシウム | 3 | 塩化スカンジウム |
| 4 | 酸化クロム | 5 | 硫化亜鉛 | | |

<Fの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 赤 | 2 | 黄 | 3 | 紫 | 4 | 黒 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

〔解答〕Ⅱ D-2 E-1 F-2

〔解説〕

D：各液体の引火点は次の通り。

ジエチルエーテル；-45℃ アセトン；-20℃

キシレン；27℃ ニトロベンゼン；88℃

E：金属ナトリウム；保管方法は鉱油又は流動パラフィンに浸漬し、水分との接触を避ける

酸化マグネシウム；水に難溶

塩化スカンジウム；潮解性があり、水への溶解度が非常に高い

酸化クロム；2～5価数を取り、価数により化学的性質が異なる

硫化亜鉛；水に不溶。アルファ線測定用のシンチレータとして利用されている

F：赤リン；紫リンを主成分とする黄リンとの混合体で、マッチの材料に使われる

黄リン；発火点は約60℃で些細なことで自然発火するため、水中で保存する

紫リン；赤リンと黒リンの混合物と考えられている

黒リン；リンの同素体中で最も安定である

Ⅲ 廃液の処理

放射性廃液は中和して保管することが多い。しかし、中和する場合には、発熱や気体の発生にも注意する必要がある。簡単な中和操作を検討する。以下の操作はフード内で行う。

pHが1の塩酸酸性の放射性廃液10Lがある。この廃液を4 mol・L⁻¹の水酸化ナトリウム水溶液で中和するには、G mLを必要とする。この場合は、加えすぎるとアルカリ性になり、発熱にも気をつける必要がある。添加量に注意しながら、水酸化ナトリウム水溶液を徐々に加

える。pH 試験紙で pH を確認する。また、炭酸ナトリウム(式量は 106 とする)を用いて pH が 1 の塩酸の放射性廃液 10 L を中和するには、 g を必要とする。この場合は、激しい発泡が生じないように、炭酸ナトリウム粉末を少しずつ加えながら攪拌し、二酸化炭素が出なくなるまで行う。廃液中に放射性の ^{14}C や ^3H を含んでいる場合には注意が必要である。中和の際に、鉄(III)イオンを含んでいる場合には、鉄(III)の水酸化物沈殿が生じることがある。その際には共沈しないが、は共沈する。

<G、H の解答群>

- | | | | | | | | | | |
|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|----|-------|
| 1 | 13 | 2 | 26 | 3 | 53 | 4 | 106 | 5 | 125 |
| 6 | 212 | 7 | 250 | 8 | 424 | 9 | 500 | 10 | 1,250 |

<I の解答群>

- | | | | | | | | |
|---|--------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|
| 1 | $^{22}\text{Na}^+$ | 2 | $^{51}\text{Cr}^{3+}$ | 3 | $^{60}\text{Co}^{2+}$ | 4 | $^{65}\text{Zn}^{2+}$ |
|---|--------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|

<J の解答群>

- | | | | | | | | |
|---|-------------------|---|----------------------|---|--------------------|---|-----------------------|
| 1 | $^{40}\text{K}^+$ | 2 | $^{13}\text{NH}_4^+$ | 3 | $^{36}\text{Cl}^-$ | 4 | $^{74}\text{AsO}_2^-$ |
|---|-------------------|---|----------------------|---|--------------------|---|-----------------------|

〔解答〕Ⅲ G-7 H-3 I-1 J-4

〔解説〕

G：塩酸と水酸化ナトリウムの中和反応の反応式は $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

pH が 1 の塩酸酸性の水素イオン濃度は $1 \times 10^{-1} \text{ [mol/L]}$ であるので、廃液中の水素イオンは $1 \times 10^{-1} \text{ [mol/L]} \times 10 \text{ [L]} = 1 \text{ [mol]}$ となる。この廃液を水酸化物イオン濃度 4 [mol/L] の水酸化ナトリウム水溶液で中和するには、水酸化ナトリウム水溶液を $x \text{ [L]}$ とすると、 $1 \text{ [mol]} = 4 \text{ [mol/L]} \times x \text{ [L]}$ すなわち $x = 0.25 \text{ [L]}$ が必要である。

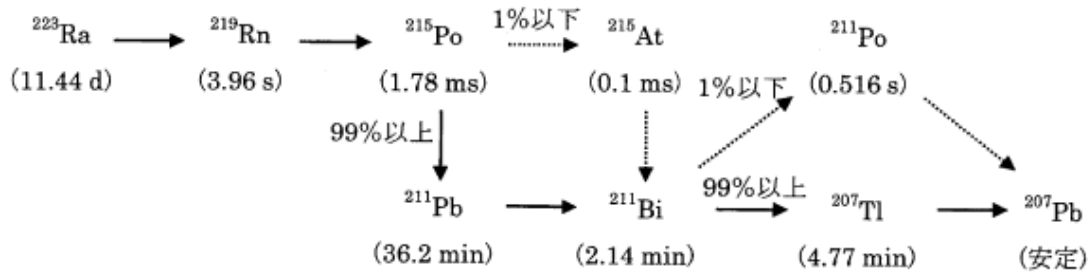
H：塩酸と炭酸ナトリウムの中和反応の反応式は $2\text{HCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$

廃液中の水素イオンは 1 [mol] なので、中和するのに炭酸ナトリウムが 0.5 [mol] 必要である。したがって、炭酸ナトリウムの 1 [mol] は 106 [g] であるので、添加する炭酸ナトリウムは $106 \text{ [g/mol]} \times 0.5 \text{ [mol]} = 53 \text{ [g]}$ である。

J：解答群中で、水酸化鉄沈殿で共沈する元素は Cr, Co, Zn, As である。

問 5 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 ラジウムは、に属する元素である。ラジウムと同じくに属する放射性核種にはがある。ICRP Publication 137 のラジウムの体内動態モデルでは、経口摂取の 20% が小腸から血中に移行し、そのうち%が骨に集積する。 ^{223}Ra は、4 回の α 壊変と 2 回の β 壊変を経て安定同位体である ^{207}Pb に至る(図)。最近では、これらの特徴を活かし ^{223}Ra 塩化ラジウム(^{223}Ra) RaCl_2)としてがんの骨転移の核医学治療に利用されている。

図 ^{223}Ra の放射壊変

1 MBq の ^{223}Ra 塩化ラジウム水溶液 1 mL 中には、希ガス元素のラドン (^{219}Rn) が含まれるが、この揮散性について考えてみよう。 ^{223}Ra の半減期は、 ^{219}Rn の半減期よりも著しく長いことから十分な時間が経過した場合、放射平衡を仮定することができる。親核種と親核種の壊変で直接生じる子孫核種の壊変定数を λ_1 、 λ_2 、物理的半減期を T_1 、 T_2 、放射平衡時の原子数をそれぞれ N_1 、 N_2 としたとき、D の関係が成り立つ。この関係式を用いて、1 MBq の ^{223}Ra の放射平衡時における ^{219}Rn の原子数 N_2 は、E 個と計算できる。標準状態 (0°C 、1 atm) における E 個の ^{219}Rn の体積は、F mL であるから、 0°C におけるラドンの溶解度 (水 1 mL に対して 0.51 mL) と比べて著しく小さいため、溶液中に完全に溶解しており、強い振とう等を加えない限り、 ^{219}Rn はほとんど揮散しないと考えることができる。ここで、ラドンを理想気体と仮定し、標準状態における 1 モル当たりの体積を 22.4 L、アボガドロ定数を $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ とする。

また、子孫核種である ^{215}Po は、通常、酸化物の形で存在する。そのため、 ^{223}Ra 塩化ラジウム溶液の取扱いに関して、強い振とう等を加えない限り揮散する割合は少ないと考えられる。

<A の解答群>

- | | | |
|--------|------------|----------|
| 1 ハロゲン | 2 アルカリ土類金属 | 3 希ガス |
| 4 遷移金属 | 5 ランタノイド | 6 アルカリ金属 |

<B の解答群>

- | | | | | |
|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1 ^3H | 2 ^{40}K | 3 ^{90}Sr | 4 ^{131}I | 5 ^{137}Cs |
|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|

<C の解答群>

- | | | | | |
|-------|------|------|------|------|
| 1 10 | 2 25 | 3 50 | 4 75 | 5 90 |
| 6 100 | | | | |

<D の解答群>

- | | | |
|---|---|---|
| 1 $\frac{1}{\lambda_1 T_1} = \lambda_2 T_2$ | 2 $\frac{1}{\lambda_2 T_1} = \lambda_1 T_2$ | 3 $e^{-\lambda_1 T_1} = \lambda_2 T_2$ |
| 4 $e^{-\lambda_2 T_1} = \lambda_1 T_2$ | 5 $\frac{1}{\lambda_1 N_1} = \lambda_2 N_2$ | 6 $\frac{1}{\lambda_2 N_1} = \lambda_1 N_2$ |
| 7 $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$ | 8 $\lambda_2 N_1 = \lambda_1 N_2$ | |

<E、Fの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|------------------------|---|------------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|
| 1 | 1.49×10^{-19} | 2 | 2.12×10^{-13} | 3 | 9.30×10^{-9} | 4 | 2.65×10^{-8} |
| 5 | 4.01×10^0 | 6 | 5.71×10^6 | 7 | 2.50×10^{11} | 8 | 7.13×10^{11} |

〔解答〕I A-2 B-3 C-2 D-7 E-6 F-2

〔解説〕

A：ラジウムは周期表第2族元素：アルカリ土類元素に属する元素である。

B：選択肢の中でアルカリ土類元素はSrのみである。

C：ICRP Publication 137のRaに関する項目において“deposition fractions of 0.25 for bone”とされている。

D： ^{223}Ra (半減期: 11.44 d)と ^{219}Rn (半減期: 3.96 s)は永続平衡の関係にあり、平衡状態にあるとき放射能は等しくなる。従って、放射平衡時の ^{223}Ra の放射能を A_1 、 ^{219}Rn の放射能を A_2 とすると $A_2=A_1$ となり、 $\lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1$ の関係が成り立つ。

E：永続平衡では娘核種の半減期の約7倍($3.96 [\text{s}] \times 7 = \text{約 } 28 [\text{s}]$)以上経過すれば平衡状態に達していると思ふことができ、この時の ^{223}Ra の減衰は無いとみなせるため、 $N_2 = A_1 / \lambda_2 = A_1 T_2 / \ln(2) = (1 \times 10^6 [\text{Bq}] \times 3.96 [\text{s}]) / 0.693 = 5.71 \times 10^6 [\text{個}]$ と計算できる。

F： ^{219}Rn の原子数は $5.71 \times 10^6 [\text{個}]$ であるから、この時のモル数は $(5.71 \times 10^6 / 6.02 \times 10^{23} [\text{mol}^{-1}]) = 9.49 \times 10^{-17} [\text{mol}]$ であり、1 molあたりの体積が22.4 Lであることから、 $9.49 \times 10^{-17} [\text{mol}] \times 22.4 [\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}] = 2.13 \times 10^{-15} [\text{L}] = 2.13 \times 10^{-13} [\text{mL}]$ となる。

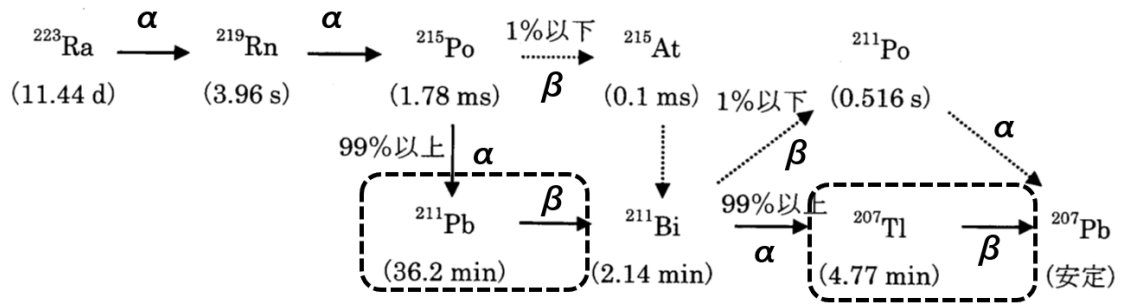
II ^{223}Ra 塩化ラジウム水溶液を取り扱う場合、 α 線、 β 線、 γ 線が放出されるため、汚染検査にあたっては、目的に応じて効果的な放射線測定器を用いる必要がある。 ^{223}Ra の壊変の過程で β 線を放出する主な核種は、Gであり、最大エネルギーが500 keVから1 MeV以上の β 線を放出する。作業台や床面等が汚染された可能性のある場合は、 β 線と γ 線を検出可能なGM管式サーベイメータ等により、迅速に測定を実施し、汚染が確認された場合は、水、中性洗剤を用いてペーパータオル等で吸い取ることで除染を行う。

<Gの解答群>

- | | | | | | | | |
|----|---------------------------------------|----|---------------------------------------|----|---------------------------------------|----|---------------------------------------|
| 1 | ^{223}Ra と ^{219}Rn | 2 | ^{223}Ra と ^{215}Po | 3 | ^{223}Ra と ^{211}Pb | 4 | ^{223}Ra と ^{211}Bi |
| 5 | ^{223}Ra と ^{207}Tl | 6 | ^{219}Rn と ^{215}Po | 7 | ^{219}Rn と ^{211}Pb | 8 | ^{219}Rn と ^{211}Bi |
| 9 | ^{219}Rn と ^{207}Tl | 10 | ^{215}Po と ^{211}Pb | 11 | ^{215}Po と ^{211}Bi | 12 | ^{215}Po と ^{207}Tl |
| 13 | ^{211}Pb と ^{211}Bi | 14 | ^{211}Pb と ^{207}Tl | 15 | ^{211}Bi と ^{207}Tl | | |

〔解答〕II G-14

〔解説〕

図 ^{223}Ra の放射壊変

与えられた壊変図のうち、質量数が増えない壊変が β 壊変であるので、生成量の多い主な核種の中で β 線放出核種は ^{211}Pb と ^{207}Tl の2核種であることが分かる。

III ラジウムの放射性同位体には、 ^{223}Ra の他に ^{226}Ra などがある。ここでは ^{226}Ra を対象として、空气中濃度限度と吸入摂取した場合の内部被ばく線量との関係について考えてみよう。必要な数値を表に示す。

表 ^{226}Ra の内部被ばく線量の計算に用いるパラメータと数値

^{226}Ra の空气中濃度限度	$9 \times 10^{-6} [\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-3}]$
^{226}Ra を吸入摂取した場合の実効線量係数	$2.2 \times 10^{-3} [\text{mSv} \cdot \text{Bq}^{-1}]$
呼吸率 (1時間に吸入する空気量)	$1.2 \times 10^6 [\text{cm}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
1週間当たりの作業時間	40 [h]

^{226}Ra の空气中濃度限度と同じ濃度の空気を、放射線業務従事者が作業室において1週間の作業時間の間継続して吸入し、空気に含まれる ^{226}Ra をすべて摂取した際の内部被ばく線量は、約 mSv となる。1年(50週)継続した場合は、約 mSv となる。なお、 ^{226}Ra の実効線量係数には、体内で生成する など子孫核種による被ばくも考慮されている。

<H、Iの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|----|--------------------|----|--------------------|----|--------------------|----|--------------------|----|--------------------|
| 1 | 1×10^{-3} | 2 | 3×10^{-3} | 3 | 5×10^{-3} | 4 | 1×10^{-2} | 5 | 3×10^{-2} |
| 6 | 5×10^{-2} | 7 | 1×10^{-1} | 8 | 3×10^{-1} | 9 | 5×10^{-1} | 10 | 1×10^0 |
| 11 | 3×10^0 | 12 | 5×10^0 | 13 | 1×10^1 | 14 | 3×10^1 | 15 | 5×10^1 |

<Jの解答群>

- | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ^{219}Rn 、 ^{215}Po 、 ^{211}Pb 、 ^{211}Bi | 2 | ^{219}Rn 、 ^{211}Po 、 ^{211}Pb 、 ^{211}Bi | 3 | ^{219}At 、 ^{215}Po 、 ^{211}Pb 、 ^{207}Pb |
| 4 | ^{220}Rn 、 ^{216}Po 、 ^{212}Pb 、 ^{212}Po | 5 | ^{220}Rn 、 ^{212}Pb 、 ^{212}Bi 、 ^{212}Po | 6 | ^{220}Rn 、 ^{216}Po 、 ^{212}Pb 、 ^{212}Bi |
| 7 | ^{222}Rn 、 ^{218}Po 、 ^{214}Po 、 ^{208}Pb | 8 | ^{222}Rn 、 ^{218}Po 、 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi | 9 | ^{222}Rn 、 ^{216}Po 、 ^{214}Po 、 ^{214}Bi |

〔解答〕 III H-10 I-15 J-8

〔解説〕

H: 1週間あたりに作業者が呼吸する量は呼吸率×作業時間なので $1.2 \times 10^6 [\text{cm}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \times 40 [\text{h}] = 4.8 \times 10^7 [\text{cm}^3]$, 呼吸によって吸入した ^{226}Ra をすべて吸収するなら, $9 \times 10^{-6} [\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-3}] \times 4.8 \times 10^7 [\text{cm}^3] = 432 [\text{Bq}]$ の ^{226}Ra が吸収され, この時の内部被ばく線量は $432 [\text{Bq}] \times 2.2 \times 10^{-3} [\text{mS} \cdot \text{Bq}^{-1}] = 0.95 [\text{mSv}]$ (約 $1 = 1 \times 10^0 [\text{mSv}]$)。

I: 1年間継続した場合は約 $1 [\text{mSv/week}] \times 50 [\text{week}] = 50 [\text{mSv}] = 5 \times 10^1 [\text{mSv}]$ となる。

J: ^{226}Ra はウラン系列($4n+2$)系列に属するので, すべての核種が $4n+2$ の質量数を持つものは選択肢7と8のみ。 ^{208}Pb は安定核なので, 被ばくとは無関係であることから選択肢8が正答となる。

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 国際放射線防護委員会 ICRP の2007年勧告では、放射線防護体系における3原則について勧告している。そのうち、ある線源からの個人の被ばくに着目したアプローチ(線源関連)であり、すべての被ばく状況に適用される原則として、□Aと□Bの原則がある。

□Aの原則は、新しい線源の導入、現存被ばくの低減、潜在被ばくのリスクの低減など、放射線被ばくの状況を変化させる行為において、それがもたらす損害を相殺するのに十分な個人的あるいは社会的便益を達成すべきであるという原則である。

防護の□Bの原則は、被ばくする可能性、被ばくする人数、およびその個人線量の大きさは、すべて、経済的及び社会的な要因を考慮して、合理的に達成できる限り低く保たれるべきであるとするものである。放射線作業における個人線量と被ばくする人数の双方を低減する目標を達成するための重要なツールとして、集団が受けた線量の積算として定義された□Cがある。ただし、この指標を用いて□Bの目的で防護の選択肢を比較する際には、不公平を低減するために、個人の被ばく分布の特徴にも注意を払うべきである。□Cは、ときとして、特定の被ばくが想定される集団の将来リスクの予想に用いられることがあるが、これは誤用である。特に、大きな人口、広い地域、長い期間の小さいレベルの被ばくに対しての適用は適切ではない。

すべての線源から個人が受ける被ばくに着目したアプローチ(個人関連)であり、計画被ばく状況に適用される原則として、□Dの適用の原則がある。患者の医療被ばくを除く計画被ばく状況においては、規制された線源からのいかなる個人への総線量も、□Dを超えるべきではないとするものである。

なお、線量の制限値としては、ほかに□Eと□Fがある。これらは□Gの制限値であり、また原則という位置づけの□Dとは異なり、□Bのツールと位置付けられる。□Eは、患者の医療被ばくを除く計画被ばく状況におけるある線源からの被ばくに対して用いられる制限値であり、その線源に対する□Bの予測線量の□Hである。□Fは、緊急時及び現存被ばく

状況における線量またはリスクのレベルと定義されている。

<A～Cの解答群>

- 1 合理化 2 正当化 3 便益化 4 最適化 5 最小化
6 最大化 7 実効線量 8 集団実効線量 9 実効線量預託

<D～Fの解答群>

- 1 線量上限値 2 線量規制値 3 線量限度 4 線量拘束値 5 予防レベル
6 参考レベル 7 規制レベル

<Gの解答群>

- 1 線源関連 2 個人関連

<Hの解答群>

- 1 下限値 2 中央値 3 最頻値 4 上限値

〔解答〕 I A-2 B-4 C-8 D-3 E-4 F-6 G-1 H-4

〔解説〕

放射線防護体系の主要な構成要素は以下のように分類される。

- 放射線被ばくが生じるかもしれない状況の特徴づけ（計画被ばく状況，緊急時被ばく状況，現存被ばく状況）
- 被ばくのタイプの区分（起こることが確実な被ばく，潜在被ばくの区別。職業被ばく，患者の医療被ばく，及び公衆の被ばくの区別）
- 被ばくした個人の区別（作業員，患者，および公衆の構成員）
- 評価の種類のカテゴリー化（線源関連と個人関連）
- 放射線防護体系における3原則（正当化，防護の最適化，線量限度の適用）
- 防護対策又は評価における個人線量のレベル（線量限度，線量拘束値および参考レベル）

被ばくが生じるさまざまな状況に対して，放射線防護体系における3原則がどのように適用され，放射線源と個人のどちらに注目した評価方法をとるか，どのような制限値が用いられるかを整理する必要がある。

計画被ばく，緊急時被ばく，現存被ばくのすべての状況に適用される基本原則は，

1. (A) 正当化の原則：放射線被ばくの状況を変化させるいかなる決定も，害より便益を大きくすべきであるとする原則
2. 防護の (B) 最適化の原則：被ばくする可能性，被ばくする人の数及びその人たちの個人線量の大きさは，すべて，経済的及び社会的な要因を考慮して，合理的に達成できる限り低く保たれるべきであるとする原則

である。計画被ばく状況に限定した基本原則として

3. (D) 線量限度の適用の原則：患者の医療被ばくを除く計画被ばく状況においては，規制された線源からのいかなる個人への総線量も，委員会が勧告する適切な限度を超えるべきでないとする原則

がある。

正当化、最適化の原則は、特定の線源を想定し、その線源からすべての個人または集団が受ける被ばくに着目する意味から (G) 線源関連 の評価に分類される。線量限度は、計画被ばく状況においてすべての規制されている線源から個人が受ける被ばくに着目する意味から、“個人関連の”評価に分類されている。線量限度の適用の原則に基づき、作業者と公衆の構成員個人に対する制限値として実効線量および等価線量に対する線量限度が定められている。

線量限度内の計画的な被ばくとして経済的および社会的に最適化された手法であっても、個人に対して大幅に不公平な結果をもたらすことは回避すべきである。このため、特定の線源からの個人に対する線量またはリスクに対して、さらに予測的な制約（線量拘束値またはリスク拘束値、及び参考レベル）が設けられる。

計画被ばく状況に関しては (E) 線量拘束値 が用いられる。線量拘束値は、ある線源に対する防護の最適化における線量の (H) 上限値 としての役割を果たす。

計画被ばく状況の下で、計画からの逸脱や事故により発生する潜在被ばくについては、事故等の確率を考慮できるようリスク拘束値が用いられる。

緊急時被ばく状況および現存被ばく状況に関しては、防護対策により最適化する上での指標として (F) 参考レベル が用いられる。参考レベルに選定される値は考慮される被ばく状況によって決まるもので、最適化を繰り返すことにより低減されるべきである。

職業的に被ばくする作業者集団の計画被ばく状況の最適化に使用される量としては (C) 集団実効線量 が定義されている。集団実効線量は、特定の期間、線源、エネルギーを指定して得られる個人実効線量値の合計であり、事前の計画値や異なる防護措置との比較評価により、将来の最適化手順と放射線防護措置の検討材料とすることを目的とする。

II 放射線防護体系の目的は、放射線被ばくの有害な影響から人の健康と環境を適切なレベルで防護することである。人の健康に対しては、有害な組織反応(確定的影響)を防止し、確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させることとしている。

確率的影響の評価はしきい値なし線形モデルに基づいており、それにより外部被ばく・内部被ばく、全身被ばく・部分被ばくに起因する線量の加算が可能となっている。ここで、特定の複数の組織・臓器に対して限定的に吸収線量が与えられた場合を仮定して、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、胃の平均吸収線量として γ 線で 50 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 I mSv、実効線量は J 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。なお、肝臓及び胃の組織加重係数は、それぞれ 0.04、0.12 である。

<Iの解答群>

1	0.24	2	1	3	2	4	3	5	6
6	15	7	25	8	50	9	65	10	75

<Jの解答群>

1	5	2	6	3	6.24	4	6.6	5	7
6	25	7	50	8	56	9	65	10	75

〔解答〕Ⅱ I-7 J-5

〔解説〕

I：等価線量 H_T は組織または臓器 T の線量で次式により与えられる。

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

ここで $D_{T,R}$ は組織または臓器 T が放射線 R から受ける平均吸収線量である。 w_R は放射線加重係数で、様々なタイプの放射線に対する生物効果比 (RBE) の実験データに基づき与えられている。2007 年勧告では α 線に対して 20, γ 線などの光子に対して 1 が与えられている。

したがって、肝臓における等価線量 H_T は、

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

となる。

J：実効線量 E は人体のすべての特定された組織及び臓器における等価線量の組織加重合計であって、次式により定義される。

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} = \sum_T w_T H_T$$

ここで H_T または $w_R D_{T,R}$ は組織または臓器 T の等価線量, w_T は組織加重係数である。組織加重係数は、身体への均一照射の結果生じた健康損害全体に対する、組織または臓器の相対的寄与を表す。

したがって、実効線量 E は、肝臓及び胃それぞれの組織加重係数と等価線量の積を合算し

$$E = 0.04 \times 25 [\text{mSv}] + 0.12 \times (1 \times 50 [\text{mGy}]) = 7 [\text{mSv}]$$

となる。