

管理測定技術

放射性同位元素及び放射線発生装置による放射線障害の防止に関する管理技術並びに放射線の測定技術に関する課目（法律別表第一に掲げる課目第二号、第三号及び第四号を含む）

試験が始まる前に、このページの記載事項をよく読んでください。裏面以降の試験問題は、指示があるまで見てはいけません。

1 試験時間：10:00～11:45（1時間45分）

2 問題数：6題（18ページ）

3 注意事項：

- ① 机の上に出してよいものは、受験票、鉛筆又はシャープペンシル（HB又はB）、鉛筆削り、消しゴム、時計（計算機能・通信機能・辞書機能等の付いた時計は不可）に限ります。
- ② 計算機（電卓）、定規及び下敷きの使用は認めません。
- ③ 不正行為等を防止するため、携帯電話等の通信機器は、必ず、電源を切ってカバン等の中にしまってください。
- ④ 問題用紙の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁又は解答用紙の汚れなどに気付いた場合は、手を挙げて試験監督員に知らせてください。なお、試験問題の内容に関する質問にはお答えできません。
- ⑤ 試験終了の合図があったら、ただちに筆記用具を置いてください。
なお、試験監督員が解答用紙を集め終わるまで、席を離れてはいけません。
- ⑥ 問題用紙は持ち帰っていただいて結構です。
- ⑦ 不正行為を行った者は、受験を中止させ、退場を命じます。

4 解答用紙（マークシート）の取扱いについて：

- ① 解答用紙を折り曲げたり汚したりしないでください。また、所定の欄以外の余白には、何も記入しないでください。
- ② 筆記用具は、鉛筆又はシャープペンシル（HB又はB）を使用してください。また、記入を訂正する場合は、消しゴムできれいに消してください。
- ③ 解答用紙の所定の欄に氏名・受験地・受験番号を忘れずに記入してください。特に、受験番号は受験票と照合して間違えないよう記入してください。
- ④ 解答は、所定の欄に1つだけ選択（マーク）してください。2つ以上選択している場合は、採点されません。

問1 次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分に入る最も適切な語句、数式又は最も近い数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 環境試料のような低レベル放射能のGe検出器を用いた測定においては、 γ 線エネルギースペクトル上のバックグラウンドを低減するため、Ge検出器を適切に遮蔽することが必要となる。 γ 線の遮蔽材には、原子番号、密度などを考慮して、鉄や鉛を用いることが多い。 ^{137}Cs γ 線(0.66 MeV)について見ると、鉛(密度: $11.3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)の全質量減弱係数は約 $0.11 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ であるため、5 cm厚の鉛板で遮蔽すると、遮蔽しない場合に比べて0.66 MeV γ 線に対する全吸収ピーク強度は約□A分の1になる。また、全質量減弱係数が約 $0.074 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ の鉄(密度: $7.9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)で同じ遮蔽効果を得るためには、約□B倍の厚さが必要となる。一方、 ^{40}K γ 線(1.46 MeV)では鉛の全質量減弱係数が約 $0.053 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ であるため、5 cm厚の鉛板で遮蔽すると、遮蔽しない場合に比べて1.46 MeV γ 線に対する全吸収ピーク強度は□C分の1程度になる。

γ 線放出核種を含む試料を測定するとき、試料自体から放出された γ 線が遮蔽体などで□Dを起こしたのち再び検出器に入射すると、結果として γ 線エネルギースペクトル上で連続的に広がるバックグラウンドが増加する。この増加が顕著に現れるスペクトル部分のエネルギー[MeV]は、試料から放出された γ 線のエネルギー E_γ をMeV単位で与えると、□ア式を用いてほぼ推定できる。鉄製遮蔽体の場合、この増加を抑えるために□Eの内張りが有効であるが、その一方で、□Fにより□E原子の□Gが原子の外に放出されることにともない、75 keV近傍に□Hのピークが生じる。この□Hの影響を効果的に低減するためには、遮蔽体内面から検出器側に向け、さらに□I、銅の薄い板を順に重ね張りすると良い。

<A～Cの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|---------|----------|
| 1 2 | 2 5 | 3 10 | 4 20 | 5 50 |
| 6 100 | 7 200 | 8 500 | 9 1,000 | 10 2,000 |

<D～Fの解答群>

- | | | |
|-----------|---------|--------|
| 1 アルミニウム | 2 鉄 | 3 銅 |
| 4 カドミウム | 5 鉛 | 6 光電効果 |
| 7 コンプトン散乱 | 8 電子対生成 | 9 弾性散乱 |
| 10 ビルドアップ | 11 放射損失 | 12 壁効果 |
| 13 励起 | | |

<アの解答群>

- | | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 $\frac{E_\gamma}{E_\gamma+1}$ | 2 $\frac{E_\gamma}{4E_\gamma+1}$ | 3 $\frac{E_\gamma}{2E_\gamma+1}$ | 4 $\frac{E_\gamma}{2(E_\gamma+1)}$ |
| 5 $\frac{2E_\gamma}{E_\gamma+1}$ | 6 $\frac{E_\gamma}{4(E_\gamma+1)}$ | | |

<G～Iの解答群>

- | | | |
|----------|-----------|-----------|
| 1 アルミニウム | 2 チタン | 3 鉄 |
| 4 カドミウム | 5 鉛 | 6 制動 X 線 |
| 7 特性 X 線 | 8 消滅光子 | 9 コンプトン電子 |
| 10 軌道電子 | 11 内部転換電子 | |

II γ 線エネルギースペクトルの連続スペクトル部分は、これと重なる他の全吸収ピークの正味計数率を求める際にバックグラウンドとなる。この連続スペクトル部分を低減するためには、Ge 検出器とその周りを取り囲む形に配置した検出器（ガード検出器）で構成される検出器システムの使用が有効である。

この検出器システムにおいて、Ge 検出器またはガード検出器のいずれか一方で γ 線を起こした γ 線が他方で検出された場合、両者の検出信号は K 事象であるため、それらの信号を L 計数回路を用いて除去することができる。この方法により、Ge 検出器の検出部において J で生じた M の信号を取り除き、 γ 線スペクトロメータの性能指標の一つである N を効果的に改善することができる。一般に、ガード検出器には、検出部の実効原子番号が高い NaI(Tl)シンチレーション検出器、 O 検出器が適しているが、低い実効原子番号でも検出部の容積が大きい検出器の作製が可能な P 検出器なども用いられている。

ガード検出器と Ge 検出器で構成される検出器システムにより、 ^{60}Co 線源試料（壊変率： N_0 ）を測定する場合を考える。 ^{60}Co の 2 本の γ 線 (γ_1, γ_2) について、この検出器システムにより得ら

れる全吸収ピークの計数率 $N_{G\gamma_1}$ 、 $N_{G\gamma_2}$ は、Ge 検出器単体としての全吸収ピーク効率をそれぞれ

ε_{G1} 、 ε_{G2} とし、ガード検出器の全計数効率を ε_{T1} 、 ε_{T2} とすると、

$$N_{G\gamma_1} = N_0 \quad \boxed{\text{イ}}$$

$$N_{G\gamma_2} = N_0 \quad \boxed{\text{ウ}}$$

となる。したがって、この検出器システムを、複数の γ 線放出が $\boxed{\text{K}}$ 事象と見なし得る ^{60}Co のような放射性核種に適用する場合には、全吸収ピークの計数効率も低下することに注意する必要がある。

< J ~ N の解答群 >

- | | | |
|--------------|--------------|---------|
| 1 光電効果 | 2 コンプトン散乱 | 3 電子対生成 |
| 4 消滅光子 | 5 光電子 | 6 反跳電子 |
| 7 ピーク対コンプトン比 | 8 半値幅 (FWHM) | 9 増倍度 |
| 10 サム | 11 同時 | 12 反同時 |
| 13 波高弁別 | 14 遅延 | |

< O、P の解答群 >

- | | |
|-------------------|----------------|
| 1 ZnS(Ag)シンチレーション | 2 BGO シンチレーション |
| 3 プラスチックシンチレーション | 4 空気電離箱 |
| 5 表面障壁型 Si 半導体 | 6 CdTe 半導体 |

< イ、ウの解答群 >

- | | | | |
|--|---|--|---|
| 1 $\varepsilon_{G1}(1 - \varepsilon_{T1})$ | 2 $(1 - \varepsilon_{G1} \cdot \varepsilon_{T1})$ | 3 $\varepsilon_{G1}(1 - \varepsilon_{T2})$ | 4 $(1 - \varepsilon_{G1} \cdot \varepsilon_{T2})$ |
| 5 $\varepsilon_{G2}(1 - \varepsilon_{T1})$ | 6 $(1 - \varepsilon_{G2} \cdot \varepsilon_{T1})$ | 7 $\varepsilon_{G2}(1 - \varepsilon_{T2})$ | 8 $(1 - \varepsilon_{G2} \cdot \varepsilon_{T2})$ |

問2 次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分に入る最も適切な語句、数値又は数式を、それぞれの解答群から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 放射線計測に際して重要な検出器の一つに電離箱がある。これは、基本的には二つの電極の間に空気等の気体を充填したもので、電極構造として、同軸状、平行平板状のものが一般的である。

これらの電離箱を電流モード、または電荷モードで動作させる場合の基本を理解するために、最初、図1に示すような平行平板電離箱の電極間に、アルゴンガスのような□A係数の小さい気体が充填され、電圧印加電極にプラスの高電圧 V_B (数百V程度) が印加されている場合を考えよう。この場合、電離で生じた電子はほぼ消失することなく電極間を移動し続ける。極板間距離を d とすると、電極の端の部分を除いて電極間空間の電界の強さ E は、ほぼ一様に $E = \square$ アとなる。電極間に入射した荷電粒子は電極間空間に充填された気体を電離し、その飛跡に沿って多数の電子・陽イオン対を生成する。電圧印加電極にプラス電圧を印加した場合、熱運動による□Bを伴いながらも、生成した電子は□Cに逆行して全体として電圧印加電極の方へ、陽イオンは□Cに沿って集電極の方向に移動していく。その際、電子が電圧印加電極に向かって移動しても、陽イオンが集電極に向かって移動しても、いずれも集電極に□Dの電荷が誘起される。こうした電荷の誘起は、電子が電圧印加電極に、陽イオンが集電極に到達するまで続く。誘起された電荷は直ちに高抵抗 R を通じて大地（アース）に流れ、電離電流として観測される。しかし、電子の移動速度と陽イオンの移動速度とは、おおよそ千倍の違いがあり、陽イオンは電子に比べて大幅に遅い。そのため、電子の移動による電流がマイクロ秒のオーダーで流れ、その後も陽イオンの移動による弱い電流がミリ秒のオーダーで持続する。この時、電子が電圧印加電極到達までに誘起された電荷 q_1 と陽イオンが集電極到着までに誘起された電荷 q_2 との比 q_1/q_2 はイオン対の発生位置に□Eが、それぞれの寄与の和 $(q_1 + q_2)$ は電離位置に□F。ここでは、説明を簡易化するために、平行平板電極の場合について述べたが、同軸状電離箱の場合でも、上記と同じ結論が得られる。

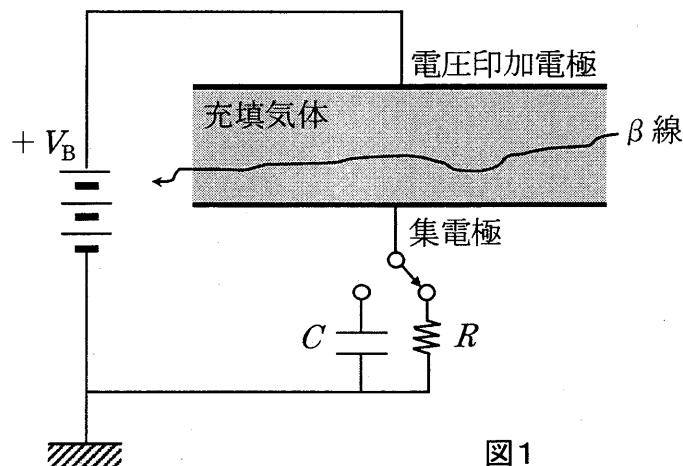


図1

以上は、**A** 係数の小さいアルゴンガスを例にとって説明したが、空気の場合、**A** 係数の大きい酸素が主要構成成分の一つとなっている。この場合、電離直後の初期の段階で、電子は酸素分子と結合し、陰イオンを生成する。陰イオンは電子と同じく電圧印加電極に向かって移動するが、この陰イオンの**G**は電子の場合と比較してはるかに小さいので、アルゴンガスの場合でみられた速い電流成分の形成はほとんど見られなくなるが、この陰イオンもミリ秒オーダーの時間で電圧印加電極に到達し、この時点までの誘導電荷を積算すれば、これは電子の移動による誘導電荷の積算値と同じになる。したがって、**A** によって中性分子が陰イオンになっても、電離箱を電流モード又は電荷モードで使用する限り、誘導電荷量や電離電流にほとんど影響を与えない。

一方、例えば電界が弱い場合、電離によって生成された電子（又は陰イオン）と陽イオンとが、結合して中性の分子になると、その分だけ誘導電荷や電流が減少する。これを**H**損失と言う。この現象を軽減、回避するためには、電極に十分な電圧をかけ、電極間の電界の強さを充分大きくすることが必要である。なお、 α 線の場合のように飛跡に沿って**I**が部分的に高い場合や大強度の放射線を測定する場合にこの現象は顕著となる。

電離箱はいろいろな用途に用いられるが、重要な用途の一つは、 $X\cdot\gamma$ 線による、周辺線量当量の測定である。この目的のためには、もっぱら同軸状の電極構造が採用されるが、この場合、電極間空間の気体（主に空気）を電離させるのは、 $X\cdot\gamma$ 線との相互作用によって主に**J**から放出される**K**である。したがって、この種の測定器のエネルギー特性は**J**の材料によって変わるが、1 cm 線量当量のサーベイには、その材料として、アルミニウムやグラファイトのような低原子番号の材料を用いると、**K**の主な成分は**L**となり、**M**特性の比較的平坦な特性が得られる。

<A～Gの解答群>

- | | | | |
|---------|---------|---------|--------|
| 1 ドリフト | 2 拡散 | 3 発散 | 4 依存する |
| 5 依存しない | 6 阻止能 | 7 等電位線 | 8 電界 |
| 9 移動度 | 10 電位 | 11 正 | 12 負 |
| 13 再結合 | 14 電子付着 | 15 イオン化 | |

<アの解答群>

- | | | | | |
|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|
| 1 $\frac{V_B}{4\pi d}$ | 2 $4\pi \frac{V_B}{d}$ | 3 $\frac{V_B}{\ln d}$ | 4 $\frac{V_B}{d}$ | 5 $\frac{V_B}{4\pi d^2}$ |
|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|

<H～Mの解答群>

- | | | | |
|-----------|---------|---------|---------|
| 1 線量 | 2 方向 | 3 阻止能 | 4 電離密度 |
| 5 エネルギー | 6 再結合 | 7 電流欠損 | 8 光電子 |
| 9 コンプトン電子 | 10 陽電子 | 11 二次電子 | 12 中心電極 |
| 13 外側の電極 | 14 陰イオン | | |

II Iで述べたように、集電極で生じた誘導電荷は、集電極とアースの間に接続された高抵抗 R を通じてアース側に電離電流として流れる。高抵抗 R の両端に現れる電圧を入力抵抗の極めて高い電位計で読みとり、これを R で除すれば、電離電流が決定できる。例えば、 β 線の連続照射により、 1.0×10^7 個/s のイオン対が電離箱の電極間空气中で生成されると、 pA の電流が高抵抗 R を通じて流れ、 R が $1 \text{ T}\Omega$ の場合、その両端に V 程度の電圧が発生することとなる。

また、高抵抗の代わりにキャパシタ（コンデンサ）を取り付け、ここに誘導電荷をため込み、この際のキャパシタの電極間の電位を電位計で読み取る方式もよく用いられる。測定時間を T [s]、電気容量 C [F] のキャパシタの電極間の電位が測定開始時に V_1 [V]、測定終了時に V_2 [V] であるとすると、この間の平均電離電流 \bar{i} は、 $\bar{i} =$ A として与えられる。上述と同じイオン対発生率 (1.0×10^7 個/s) の場合、キャパシタの容量を 50 pF （浮遊容量を含む）とし、キャパシタ両端の電位の上昇を観測すると、100 秒間におおよそ V の電位上昇が認められることとなる。高抵抗を用いる方式に比べ、キャパシタ充電法は測定時間の平均値を読み取るので精度が高い。また抵抗に比べてキャパシタの安定度も良好である。

なお、空気の β 線に対する W 値を 34 eV とすると、 1.0×10^7 個のイオン対を生成させるためには、この空間中で約 pJ のエネルギーが吸収される必要がある。電極間空間の体積を 100 cm^3 、気体密度を $1.3 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$ とすると、この場合、充填気体における β 線による吸収線量は、ほぼ μGy に相当する。

<イ～キの解答群>

- | | | | | | | | |
|----|---------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|---------------------------|
| 1 | 0.34 | 2 | 0.42 | 3 | 1.6 | 4 | 3.2 |
| 5 | 12 | 6 | 54 | 7 | 83 | 8 | 98 |
| 9 | $\frac{V_2 - V_1}{CT}$ | 10 | $\frac{C(V_2 - V_1)}{T}$ | 11 | $\frac{T(V_2 - V_1)}{C}$ | 12 | $\frac{2C(V_2 - V_1)}{T}$ |
| 13 | $\frac{2T(V_2 - V_1)}{C}$ | | | | | | |

問3 次のⅠ～Ⅲの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 放射性同位元素の管理は受け入れに始まる。放射性同位元素はその種類や数量に対応した形態で事業所外から搬入される。 ^{134}Cs γ 線源（点線源）を収納した容器（20 cm×20 cm×20 cm）がL型輸送物として運び込まれた。線源は輸送物の中心に位置している。L型輸送物表面の1 cm線量当量率は $5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 以下であった。この場合、輸送物表面から1 mの位置での線量当量率は最大□ A □ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ である。

受け入れた放射性同位元素は事業所内でさらに運搬されて、使用・貯蔵される。一般的には、事業所外から搬入された輸送物はそのまま事業所内を運搬することとなるが、事業所内では不特定の一般公衆や一般車両が存在しないため事業所外を運搬する場合と比べ、その基準が緩和されている。

事業所内の運搬の際の1 cm線量当量率の基準を運搬物の表面から1 mで $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 以下とする。例えば、貯蔵されている別の ^{134}Cs γ 線源（点線源）を容器に封入し、立方体（20 cm×20 cm×20 cm）の中心に収納した運搬物の表面から1 mで $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ とした場合、前述のL型輸送物として受け入れた線源のおおよそ□ B □倍の数量までこの運搬物で1 cm線量当量率の基準を満たすことが出来る。さらに遮蔽体を用いることで線量当量率を下げる事が出来る。

遮蔽材料の選択の際には、放射線と物質との相互作用を考慮して、線質・エネルギーに注意する。使用時にも遮蔽体の適切な使用は外部被ばく線量の低減に効果がある。例えば、100 keV以下の低エネルギー γ 線源として使用される□ C □の γ 線遮蔽では薄い鉛板が用いられる。しかし、エネルギーの高い β 線源の□ D □の遮蔽に鉛板を用いると□ E □が発生する。鉛板の代わりに、実効原子番号が小さくて加工も容易な□ F □板を用いると、大幅に□ E □の発生を抑止出来る。

<Aの解答群>

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 0.01 | 2 0.04 | 3 0.05 | 4 0.10 | 5 0.40 |
| 6 0.50 | 7 1.0 | | | |

<Bの解答群>

- | | | | |
|---------|-----------|---------|---------|
| 1 20 | 2 50 | 3 120 | 4 200 |
| 5 960 | 6 2,000 | 7 2,400 | 8 3,500 |
| 9 5,600 | 10 12,000 | | |

<C、Dの解答群>

- | | | | | |
|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| 1 ^3H | 2 ^{11}C | 3 ^{14}C | 4 ^{18}F | 5 ^{32}P |
| 6 ^{35}S | 7 ^{109}Cd | 8 ^{131}I | 9 ^{137}Cs | 10 ^{210}Po |

<E、Fの解答群>

- | | | | |
|----------|----------|---------|--------------|
| 1 オージェ電子 | 2 内部転換電子 | 3 消滅放射線 | 4 δ 線 |
| 5 制動放射線 | 6 スズ | 7 真ちゅう | 8 ステンレス |
| 9 アクリル | 10 ベリリウム | | |

II 放射性同位元素の使用の際には、その挙動に注意を払うことで、作業リスクの低減を図ることが出来る。放射性核種の空気中への揮散は作業者の内部被ばくを招く可能性があるため、特に注意する。揮散の可能性は放射性核種を含む化合物の化学的性質に依存する。G などのハロゲンや³H (T) には揮発し易い化合物が数多く知られているので、これらの核種を取り扱う際にはその化学形に注意する。

有機標識化合物の H は揮散のリスクの指標であり、分子構造からもある程度予測が可能である。例えば、同程度の分子量であるカルボン酸、アルコール、アルデヒド、エーテルでは I の H が最も高い。揮散が避けられない場合には、発生する放射性気体を吸収して固定化する。気体状の CH₃¹³¹I が発生する場合の吸収材としては J が有効である。また、¹⁴CO₂ が発生する場合には K が用いられる。

この他に非密封の L などのα放射体を使用する場合には、内部被ばくの防止が特に重要である。密封線源の場合も、密封状態に影響するような変化が発生しないように注意する。²⁴¹Am 密封線源は低エネルギーγ線源として M に用いられているが、α放射体でもある。α線源としての利用では N が窓材によく用いられるが、非常に薄いので破損しないように注意する。

<Gの解答群>

- 1 ¹⁴C 2 ³²P 3 ⁹⁹Tc 4 ¹³¹I 5 ¹³⁷Cs

<Hの解答群>

- 1 融点 2 凝固点 3 沸点 4 屈折率 5 誘電率

<Iの解答群>

- 1 カルボン酸 2 アルコール 3 アルデヒド 4 エーテル

<J、Kの解答群>

- 1 シリカゲル 2 希硫酸 3 有機アミン添着活性炭
4 石英砂 5 水酸化ナトリウム水溶液

<Lの解答群>

- 1 ²⁰³Hg 2 ²⁰⁸Tl 3 ²¹⁰Po 4 ²²⁸Ra 5 ²³⁹Np

<Mの解答群>

- 1 蛍光 X 線分析 2 ⁵⁷Fe メスバウアー分光法 3 陽電子消滅寿命測定
4 中性子放射化分析 5 ラザフォード散乱

<Nの解答群>

- 1 ステンレス 2 雲母 3 ベリリウム 4 テフロン
5 金

Ⅲ 放射性同位元素の使用の際には作業室の実験台や床面の汚染に注意する。汚染が発生した場合には、汚染核種の特定、汚染範囲の確認、汚染の拡大の可能性の予測などが必要となる。サーベイメータを利用しての汚染状況の把握は対策の第一歩である。スミア法による汚染検査を併用することで、汚染核種の特定や の状況についての基礎データを得る。

汚染状況に基づいて除染計画が立案される。短半減期核種による汚染では、汚染が広がらないような措置等を講じて、除染せずに による放射能の減少を待つ場合もある。例えば、 ^3H 、 ^{18}F 、 ^{57}Co 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs を使用する施設の場合には、最も半減期の短い使用核種である による単独の汚染などで、こうした対処もあり得る。

複数の核種を使用している施設での汚染では汚染核種の特定が必要である。 放出核種の同定には、Ge 検出器によるエネルギースペクトル測定が有効である。ただし、 ^{134}Cs などの定量の際には の寄与の補正を要する場合もある。

除染作業では、まず吸湿紙でふき取ることがよく行われる。水溶性の汚染に対しては、水、中性洗剤の他、 などのキレート性除染剤を脱脂綿にしみこませてふき取ることもよく行われる。

<Oの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 反応性 | 2 酸化性 | 3 固着性 | 4 潮解性 | 5 光分解性 |
|-------|-------|-------|-------|--------|

<Pの解答群>

- | | | | | |
|--------|------|------|------|-------|
| 1 化学反応 | 2 揮発 | 3 浸透 | 4 壊変 | 5 核反応 |
|--------|------|------|------|-------|

<Qの解答群>

- | | | | | |
|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1 ^3H | 2 ^{18}F | 3 ^{57}Co | 4 ^{131}I | 5 ^{134}Cs |
|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|

<Rの解答群>

- | | | | | |
|--------------|-------------|--------------|------|--------|
| 1 α 線 | 2 β 線 | 3 γ 線 | 4 X線 | 5 中性子線 |
|--------------|-------------|--------------|------|--------|

<Sの解答群>

- | | | |
|------------|------------|---------|
| 1 全吸収ピーク | 2 コンプトンエッジ | 3 サムピーク |
| 4 エスケープピーク | 5 自己吸収 | |

<Tの解答群>

- | | | |
|------------|--------|--------|
| 1 EDTA 水溶液 | 2 希塩酸 | 3 アセトン |
| 4 エチルエーテル | 5 キシレン | |

問4 密封されていない³H (T)、⁴⁵Ca、⁵¹Crを使用する実験施設がある。各使用核種の安全取扱いに関する次のI~IVの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

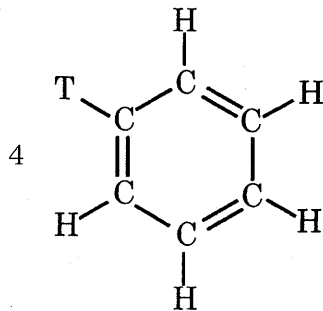
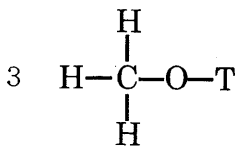
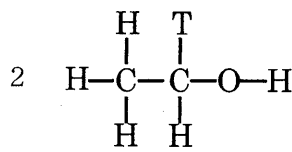
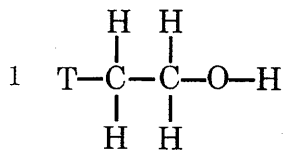
I 使用室のフード1では、Tの標識化合物を取り扱っている。Tは、半減期□A□年で最大エネルギー□B□keVのβ⁻線を放出する核種である。Tの標識化合物を取扱う時には、同位体交換反応によるT化合物の生成に注意する必要がある。取扱う物質からTを含む気体が発生する可能性がある場合には、適切なトラップを装備したガスハンドリングシステムを用いる。例えば、□C□は揮発性であるとともに水と混合するとHTOが生成する。また使用室全体は、一般に1時間に10回程度の換気を行う。

実験室のTによる汚染検査には、スミア法を用い□D□計数装置で測定する。□D□計数装置は、測定試料をシンチレーションカクテルとともに□E□ガラスバイアルや、プラスチックバイアルに入れて測定する。シンチレーション光を複数の□F□を用いて□G□することにより、低バックグラウンドで計測ができる。

<A、Bの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|---|------|---|------|---|-------|---|-------|---|----|
| 1 | 8.02 | 2 | 12.3 | 3 | 14.3 | 4 | 18.6 | 5 | 28 |
| 6 | 163 | 7 | 257 | 8 | 1,711 | 9 | 5,700 | | |

<Cの解答群>



<D、Eの解答群>

- | | | | |
|---|-----------------|----|-------------|
| 1 | NaI(Tl)シンチレーション | 2 | BGOシンチレーション |
| 3 | ZnS(Ag)シンチレーション | 4 | 液体シンチレーション |
| 5 | 端窓型GM管 | 6 | 褐色 |
| 7 | 低カリウム | 8 | カリ石灰 |
| 9 | 鉛 | 10 | コバルト |

<F、Gの解答群>

- | | | |
|------------|----------|-----------|
| 1 光電子増倍管 | 2 CCDカメラ | 3 蛍光板 |
| 4 フォトダイオード | 5 パイルアップ | 6 エネルギー選別 |
| 7 ガス増幅 | 8 同時計数 | |

II フード 2 では、 $^{45}\text{CaCl}_2$ 水溶液から ^{45}Ca を線源とする β^- 線測定用の試料を作成している。 ^{45}Ca は 日の半減期で、最大エネルギー keV の β^- 線を放出する。液体の放射性物質を使う実験では、 を敷いたバット上で行う。水溶液を減容する操作では、溶液の攪拌^{かくはん}や沸騰石の使用により、溶液のを防ぐ。 ^{45}Ca による汚染の直接法による検出にはサーベイメータが適している。 ^{45}Ca を水溶液から沈殿として除去するには、シュウ酸塩や物とする操作が効果的である。

<H、Iの解答群>

- | | | | | |
|--------|--------|---------|---------|------|
| 1 8.02 | 2 12.3 | 3 14.3 | 4 18.6 | 5 28 |
| 6 163 | 7 257 | 8 1,711 | 9 5,700 | |

<J～Lの解答群>

- | | |
|----------------|-------------------|
| 1 フッ素樹脂シート | 2 アルミニウム箔 |
| 3 ポリエチレンろ紙 | 4 HEPA フィルター |
| 5 ビニールシート | 6 NaI(Tl)シンチレーション |
| 7 BGO シンチレーション | 8 ZnS(Ag)シンチレーション |
| 9 液体シンチレーション | 10 GM管式 |
| 11 乾固 | 12 突沸 |
| 13 発泡 | 14 過飽和 |

<Mの解答群>

- | | | | | |
|--------|------|------|-------|-------|
| 1 フッ化 | 2 塩化 | 3 臭化 | 4 ヨウ化 | 5 アジ化 |
| 6 シアン化 | | | | |

Ⅲ フード 3 では、 ^{51}Cr が使用されている。 ^{51}Cr は半減期 27.7 日の 壊変核種であり、 keV の γ 線を放出する。少量の ^{51}Cr による汚染の検出には γ 線に感度の高い 式サーベイメータが有効である。

ガラスバイアルに入っている 10 GBq の ^{51}Cr から 50 cm 離れたところで行う分取作業を考える。何も遮蔽をしないとすると、5 時間の作業で 900 μSv 被ばくする。同じ作業で被ばく線量を 15 μSv 以下にするためには、バイアルを最低 mm の鉛を用いて遮蔽する。ただし ^{51}Cr の γ 線に対する鉛の半価層を 2 mm とし、遮蔽厚みは 1 mm 単位で設定できるものとする。

<N、Oの解答群>

- | | | | | |
|-------------|-------------|------------|-------|--------|
| 1 β^- | 2 β^+ | 3 α | 4 EC | 5 IT |
| 6 クラスター | 7 14.4 | 8 122 | 9 320 | 10 662 |
| 11 1,173 | 12 1,275 | 13 1,461 | | |

<Pの解答群>

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

<Aの解答群>

- | | | | | |
|------|-----|-----|------|------|
| 1 2 | 2 4 | 3 8 | 4 12 | 5 16 |
| 6 24 | | | | |

Ⅳ フード 2 の ^{45}Ca の実験とフード 3 の ^{51}Cr の実験のみの廃水が貯留槽に溜まっている。放射能濃度を測定したところ、 ^{45}Ca と ^{51}Cr の放射能はそれぞれ、3.5 $\text{kBq}\cdot\text{L}^{-1}$ と 10 $\text{kBq}\cdot\text{L}^{-1}$ であった。この廃水はそのままでは排水濃度限度以上である。排水濃度限度以下にするためには、少なくとも 倍以上に希釈する必要がある。ただし、告示別表第 2 の第 6 欄に示されている排液中又は排水中の濃度限度は、これらの実験に使用した化学形では、 ^{45}Ca について $1\times 10^0 \text{ Bq}/\text{cm}^3$ 、 ^{51}Cr について $2\times 10^1 \text{ Bq}/\text{cm}^3$ である。

<Iの解答群>

- | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|------|
| 1 2 | 2 3 | 3 4 | 4 6 | 5 10 |
|-----|-----|-----|-----|------|

問5 次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分に入る最も適切な語句又は数値を、それぞれの解答群から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 ICRP2007年勧告では、放射線防護体系の目的を、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とし、人の健康に対しては、□A□を防止し、□B□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。

□A□は、しきい線量を下回るように被ばくを抑えることで、その発生を防止できる。一方、□B□には発がん□C□が含まれ、線量の増加とともにリスクが増加する直線しきい値なしモデルに従うと考えると□B□に対する防護体系が構築されている。

ICRP2007年勧告では、□B□に対する放射線防護の目的においては、代表的□D□における□E□で平均化された生涯リスク推定値を用いることが適切であるとの判断をしている。その計算方法は、まず、疫学研究によるがんの□F□率及び生殖腺に対する遺伝的リスクデータから、各臓器・組織の生涯リスク推定値を求めた。次いで、骨髄以外の臓器・組織について□ア□を考慮して生涯リスク推定値を2分の1に調整した。さらに各臓器・組織について集団間で疾患の自然発生率が異なっても適用可能な生涯リスク推定値から症例数を計算する方法を定めた上で、アジアの4集団と欧米の3集団に対して適用し、これを平均して各臓器・組織の1万人当たり1Sv当りに増加する症例数を求めた。これを□イ□と呼ぶ。さらに、致死率、非致死疾患における苦痛等による生活の質の低下、寿命損失を考慮したものを□G□として評価し、各臓器・組織の1万人当たり1Sv当たりの□G□を計算した。全臓器・組織の□G□の合計値に基づき、がんについて全集団で5.5%/Sv、成人では4.1%/Svという□G□で調整された□イ□が推定された。

また、□G□に基づいて、以下のように□ウ□が定められた。まず、□G□の合計値に対する各臓器・組織の□G□の寄与割合(相対□G□)を計算した。この値に基づいて各臓器・組織を大まかに4つにグループ分けし、全臓器・組織の合計が1となるように、各グループに1つの丸めた値を割り振った。□ウ□の値は、ICRP2007年勧告では、ICRP1990年勧告に比べ、乳房では□エ□、生殖腺では□オ□、データが不十分で個々に放射線リスクの大きさを判断できない複数の臓器・組織をまとめてひとつのカテゴリとした「残りの組織」では□カ□になっている。

ICRP2007年勧告では、これらのリスク推定値は放射線防護の目的には適切であるが、被ばくした特定の個人や集団における起こり得る影響の推定には適用されないことを強調している。

<A～Cの解答群>

- | | | | |
|---------|--------|---------|------------|
| 1 確率的影響 | 2 晩発影響 | 3 確定的影響 | 4 遺伝性(的)影響 |
| 5 急性影響 | | | |

<D、Eの解答群>

- | | | |
|----------|---------------|-----------|
| 1 国および地域 | 2 社会的および経済的状況 | 3 性別および年齢 |
| 4 個人 | 5 集団 | 6 国 |
| 7 地域 | | |

<F、Gの解答群>

- | | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 1 疾病 | 2 有病 | 3 罹患 | 4 生存 | 5 損失 |
| 6 損害 | 7 死亡 | | | |

<ア～ウの解答群>

- | | | |
|--------------|-----------|-----------|
| 1 放射線加重係数 | 2 組織加重係数 | 3 名目リスク係数 |
| 4 線量・線量率効果係数 | 5 生物学的効果比 | 6 過剰相対リスク |
| 7 過剰絶対リスク | | |

<エ～カの解答群>

- | | | |
|-------|--------|-------|
| 1 小さく | 2 同じ値に | 3 大きく |
|-------|--------|-------|

II 外部被ばくの個人モニタリングは、身体に着用した個人線量計を用いて行われ、その実用量である個人 H は、人体上の指定された点の適切な深さ d における H である。ICRP2007年勧告では、 I の評価には深さ $d = \text{キ}$ mm、皮膚及び手足の J の評価には深さ $d = \text{ク}$ mm が勧告された。眼の水晶体の J については、評価が必要な特別な場合には深さ $d = \text{ケ}$ mm が適切と提案しながらも、測定機器が非常に少なく、實際上ほとんど使用されておらず、他の実用量を用いてモニタリングの目的である線量限度の担保を達成できるとしていた。しかし、ICRP Publ.118 (2012) に掲載された組織反応に関する ICRP 声明 (ソウル声明) において、眼の水晶体の職業被ばくの J 限度を、ICRP2007年勧告で用いられていた1年間につき コ mSv から5年間の年間平均で年 20 mSv (年最大 50 mSv) へ変更する勧告がなされ、他の実用量で線量限度を担保することが難しくなった。そのため、国際的に深さ $d = \text{ケ}$ mm における H の測定手法や機器の検討が進められている。

<H～Jの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 吸収線量 | 2 実効線量 | 3 預託線量 | 4 等価線量 |
| 5 線量当量 | | | |

<キ～コの解答群>

- | | | | | |
|--------|--------|-------|-------|-------|
| 1 0.07 | 2 0.1 | 3 0.3 | 4 0.7 | 5 1 |
| 6 3 | 7 7 | 8 10 | 9 30 | 10 70 |
| 11 150 | 12 500 | | | |

問6 次のⅠ～Ⅲの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 作業者等に内部被ばくまたは外部被ばくの可能性がある被ばく事故があり、しかも被ばくの状況が不明の場合には、内部被ばくや外部被ばくの有無やそれらの線量評価を行い、適切な治療を行う必要がある。体表面に汚染があるかどうかを調べるためのサーベイメータとして、β線やγ線を検出するためにはGM管式サーベイメータを用い、α線を検出するためには□A□を用いる。GM管式サーベイメータにより汚染が見つかった部位では、計数率から表面汚染密度を以下のように計算する。

$$\text{表面汚染密度[Bq/cm}^2\text{]} = \frac{\text{対象物の測定値[s}^{-1}\text{]} - \square\text{B}\square \text{ [s}^{-1}\text{]}}{\varepsilon_i \times W[\text{cm}^2] \times \varepsilon_s}$$

ただし、 ε_i はβ粒子又はα粒子に対する□C□効率、 W は放射線測定器の有効窓面積[cm²]、 ε_s は放射性表面汚染の□D□効率とする。

□C□効率は、標準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の計数率の比と定義される。JIS Z 4329:2004では、200 keVを超えるβ線を対象とする測定器の場合には標準線源として□E□又は²⁰⁴Tlを用いることが決められており、特に指定のない限り標準線源から□F□の位置に検出器表面を置いて正味計数率を測定し、その値から□C□効率が決められる。また、GM管式サーベイメータの□C□効率はβ線のエネルギーによって異なるため、サーベイメータの取扱説明書には、横軸をβ線最大エネルギー、縦軸を□C□効率とした図を添付することがJIS Z 4329:2004で定められている。

□D□効率とは、□D□の中で単位時間当たりに放出される放射線粒子数に対する同じ放射線の表面放出率の比と定義される。□D□効率に関しては、JIS Z 4504:2008では最大エネルギーが0.4 MeV以上のβ線の場合は0.5、α線又は最大エネルギーが0.15 MeV以上0.4 MeV未満のβ線の場合は0.25とすることが推奨されている。

JIS Z 4334:2005で規定されるクラス1及びクラス2参照標準線源の放射能面積は□G□cm²以上の平面状線源であるため、汚染が局所的な場合や不均一の場合には□C□効率は正確ではなくなる。従って、GM管式サーベイメータの計数率から表面汚染密度を計算する場合には、使用条件に即した条件で新たに校正を行うなど、十分な注意が必要となる。

<Aの解答群>

- | | | | | |
|---------------------------|-----------------------|--|--|----------|
| 1 ZnS(Ag)シンチレーション式サーベイメータ | | | | |
| 2 NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ | | | | |
| 3 電離箱式サーベイメータ | 4 ^3He 比例計数管 | | | 5 Ge 検出器 |

<B~Dの解答群>

- | | | |
|-------|------------|------|
| 1 変換 | 2 検出率 | 3 線源 |
| 4 修正 | 5 バックグラウンド | 6 機器 |
| 7 線量率 | 8 印加 | 9 緩和 |
| 10 計数 | | |

<Eの解答群>

- | | | | | |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1 ^{36}Cl | 2 ^{51}Cr | 3 ^{54}Mn | 4 ^{60}Co | 5 ^{137}Cs |
| 6 ^{241}Am | | | | |

<Fの解答群>

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 1 mm | 2 3 mm | 3 5 mm | 4 1 cm | 5 2 cm |
| 6 5 cm | | | | |

<Gの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 50 | 2 100 | 3 150 | 4 200 | 5 250 |
| 6 300 | | | | |

II 内部被ばくの線量評価は、体表面汚染の程度と部位、**H**などを参考として、ホールボディカウンタ（WBC）などの体外計測法や、尿や便を採取して行う**I**法によって行う。尿や便の採取は1日に排泄された全量を3～7日間程度採取し、計測に用いる。

外部被ばくの有無や被ばく線量を初期に判断するためには、臨床症状、末梢血中の**J**、**K**、**L**、末梢血リンパ球中の染色体異常（主に**M**）などから総合的に判断する。**N**は1Gy以上の被ばくで2時間以内に生じ、線量が高くなるほど発現頻度は高くなり、被ばくから発症までの時間は短くなる。**J**は24時間以内に線量依存的に減少し、**K**は24時間以内に線量依存的に増加する。**L**は唾液腺が被ばくした場合における唾液腺からの逸脱酵素で、唾液腺被ばくにより24時間以内に線量依存的に増加する。

<Hの解答群>

- | | | | |
|-----------|---------|--------|--------|
| 1 口腔スミア | 2 頸管スミア | 3 鼻スミア | 4 耳スミア |
| 5 PCR スミア | | | |

<Iの解答群>

- | | | |
|-------------|------------|-------------|
| 1 バイオアッセイ | 2 イムノアッセイ | 3 レポーターアッセイ |
| 4 プロテインアッセイ | 5 コメットアッセイ | |

<J～Lの解答群>

- | | | |
|---------|---------------|----------|
| 1 赤血球数 | 2 血糖値 | 3 アミラーゼ |
| 4 リンパ球数 | 5 HDL コレステロール | 6 中性脂肪 |
| 7 尿酸 | 8 好中球数 | 9 ミオグロビン |
| 10 血小板数 | 11 シトルリン | |

<Mの解答群>

- | | | |
|-----------|---------|------|
| 1 転座 | 2 染色体橋 | 3 逆位 |
| 4 二動原体染色体 | 5 染色体断片 | |

<Nの解答群>

- | | | | | |
|------|--------|------|--------|------|
| 1 嘔吐 | 2 意識障害 | 3 脱毛 | 4 出血傾向 | 5 痙攣 |
|------|--------|------|--------|------|

Ⅲ 内部汚染の治療では、一般に、経口摂取の場合には胃洗浄、催吐剤・緩下剤の投与を行い、吸入摂取の場合には去痰剤や喀痰への排出を促進するための薬剤の吸入を行う。セシウムによる内部汚染の治療では が経口薬として用いられる。 は による内部汚染の治療にも用いる。プルトニウムやアメリシウムなどの除去には、 が点滴で用いられる。プルトニウムやアメリシウムの体内汚染が吸入によって起こった場合には、ネブライザーを用いて を吸入投与することもある。

外部被ばくの治療としては、全身被ばく線量が概ね 3 Gy 以上では感染症対策として無菌室での治療、抗生剤・造血サイトカインの投与、成分輸血などが行われる。8 Gy 以上の線量では造血幹細胞移植を考慮する。造血幹細胞移植には、 移植、 移植、 移植の 3 種類がある。 移植はドナーから を採取し移植に用いるものである。 移植は G-CSF を 4～6 日間連日投与した上で末梢血から造血幹細胞を採取し移植に用いるものである。 移植は に含まれる幹細胞を移植に用いるものである。 移植は他の移植法に比べ、移植片対宿主病 (GVHD) が起こりにくい利点があり 6 個のヒト白血球抗原 (HLA) のうち 2 個が不適合であっても移植が可能であり、しかも移植までの時間が短くてすむことから、外部被ばくでの造血幹細胞移植には最も利用しやすい。

<Oの解答群>

- | | | |
|----------------|------------|--------------|
| 1 フェノールレッド | 2 プルシアンブルー | 3 ディスパースイエロー |
| 4 プロモクレゾールパープル | 5 メチルグリーン | |

<Pの解答群>

- | | | |
|------------|-----------|--------------|
| 1 放射性ポロニウム | 2 放射性ヨウ素 | 3 放射性ストロンチウム |
| 4 放射性タリウム | 5 放射性カリウム | |

<Qの解答群>

- | | |
|------------------------|--------------|
| 1 水酸化アルミニウムゲル | 2 アルギン酸ナトリウム |
| 3 硫酸バリウム | 4 グルコン酸カルシウム |
| 5 ジエチレントリアミン五酢酸 (DTPA) | |

<R～Tの解答群>

- | | | |
|----------|-------|----------|
| 1 臍帯血幹細胞 | 2 骨髓 | 3 末梢血幹細胞 |
| 4 胚細胞 | 5 ハプロ | |

