

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 1 に掲げる課目（2）、（3）及び（4）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（16 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入れてください。
- 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 シンチレーション検出器に関する次のⅠ～Ⅲの文章の□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。

放射線と物質の相互作用により蛍光を発する現象は、放射線検出の有効な手段の一つであり、シンチレーション検出器として利用されている。このシンチレーション検出器は、蛍光を発するシンチレータとその蛍光を電気信号に変換する光センサなどから構成されている。

Ⅰ シンチレータは、NaI(Tl)、BGOなどの無機シンチレータと、プラスチックシンチレータ、液体シンチレータなどの有機シンチレータに大別されるが、シンチレータの種類により発光メカニズムは同一ではない。

NaI(Tl)シンチレータの場合は、ヨウ化ナトリウム結晶に少量のタリウムが添加されている。放射線による電離で生じた自由電子、□A、及びこれらの対である□Bがこの結晶中を移動する。タリウムの添加により結晶の□C領域に生成されたエネルギー準位に、移動中の電子等が捕獲され、タリウム原子が励起される。この励起状態が再び基底状態に戻るとき、主として□Dに相当する波長域の蛍光が放出される。この不純物として添加されたタリウムは□E物質と呼ばれ、シンチレータ中に分布して□Fを形成する。

<A～Fの解答群>

- | | | | |
|--------|-----------|---------|--------|
| 1 電子 | 2 陽電子 | 3 陽イオン | 4 紫外線 |
| 5 可視光 | 6 赤外線 | 7 正孔 | 8 励起子 |
| 9 活性化 | 10 クエンチャー | 11 発光中心 | 12 禁止帯 |
| 13 伝導帯 | 14 価電子帯 | 15 光電変換 | |

Ⅱ 無機シンチレータの多くは、シンチレータの□Gが比較的高く、また密度も高いことから、 γ 線の線量測定やエネルギー測定に使用する検出器に適している。無機シンチレータに分類されるZnS(Ag)シンチレータは、通常□Hの検出に用いられるが、□Iのためエネルギースペクトルの測定には適さない。

有機シンチレータのうち、プラスチックシンチレータは、主として β 線、中性子などの測定に用いられる。また、□Gが低く光電ピークの検出には適さないが、大容積のシンチレータが作製可能なため、 γ 線ゲートモニタなどにも用いられている。

液体シンチレータは、放射性物質をシンチレータに直接混合して測定できるため、その放射性物質からの放射線について□Jが高い。また、放射線の□Kを小さくできることから、トリチウムのような低エネルギー純 β 線放出核種や α 線放出核種の放射線管理測定に極めて有効である。

さらに、液体シンチレータやプラスチックシンチレータは、□L原子を多く含むことから、その原子核の反跳により生じる□Mに着目して□Nの測定に用いられる。

<G~Nの解答群>

- | | | | |
|---------|-----------|---------|--------|
| 1 α線 | 2 β線 | 3 陽子 | 4 熱中性子 |
| 5 速中性子 | 6 原子番号 | 7 イオン価 | 8 水素 |
| 9 炭素 | 10 検出効率 | 11 量子効率 | 12 多結晶 |
| 13 自己吸収 | 14 クエンチング | | |

Ⅲ 放射線によりシンチレータで生じた蛍光は、光電子増倍管や のような光センサを用い電気信号に変換して計測される。この発光量は極めて微弱であるが、光電子増倍管では、シンチレーション発光を光電陰極において光電子に変え、これを多段の で増幅することにより、光電子の数を $10^4 \sim 10^7$ 倍に増すことができる。

NaI(Tl)シンチレーション発光の平均波長は約 m であり、プランク定数を $6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 、電気素量を $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、光速度を $3.0 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ とすると、このシンチレーション光のエネルギーは約 3 eV である。このため、1 MeV の光子がシンチレータに全エネルギーを与える場合、集光過程における光の損失を無視し、またシンチレータの発光効率を 12%、光電陰極の量子効率を 10%、電子増倍度を 10^4 とすると、陽極における総電荷量は約 C となる。さらに、光電子増倍管の陽極の静電容量を 10 pF とすると、陽極に生じるパルスの最大電圧は V となり、信号処理に十分な出力電圧が得られる。

<O、Pの解答群>

- | | | | |
|---------|-----------|---------|----------|
| 1 電子増倍管 | 2 光電陰極 | 3 ダイノード | 4 アノード |
| 5 整流子 | 6 発光ダイオード | 7 光触媒 | 8 光ダイオード |
| 9 ホール素子 | | | |

<Q~Sの解答群>

- | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 1.2×10^{-12} | 2 4.1×10^{-12} | 3 6.4×10^{-12} | 4 1.2×10^{-9} |
| 5 4.1×10^{-9} | 6 6.4×10^{-9} | 7 1.2×10^{-7} | 8 3.2×10^{-7} |
| 9 4.1×10^{-7} | 10 5.8×10^{-7} | 11 6.4×10^{-7} | 12 1.2×10^{-1} |
| 13 4.1×10^{-1} | 14 6.4×10^{-1} | 15 1.2×10^0 | |

問2 次のⅠ～Ⅲ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 放射線エネルギースペクトルの測定手法として、半導体検出器やシンチレーション検出器などからのパルス信号の波高分布を測定する手法が一般的である。特に、半導体検出器を用いた方式は、格段に優れたエネルギー分解能を持つため、放射線のエネルギースペクトル測定の本命とも言うべきものである。半導体検出器においては、電離作用に基づいて生じた電子と正孔が、電場中でドリフトする際に電極に誘起される微小な電荷をパルス信号として取り出す。一般に、半導体検出器自体は□Aをしないので、出力信号は微弱であり、これを利用するためには、エレクトロニクス技術の活用が不可欠である。

半導体検出器からの微弱な□B信号は、通常、□C有感型の前置増幅器により、□Dパルスに変換される。□C有感型とは、高いゲインを持つ増幅器のフィードバック回路に静電容量の小さなキャパシタを接続したもので、入力端からの電荷は、フィードバック回路に接続されたキャパシタに全部送り込まれ、このキャパシタ両端の電圧が出力として現れる。半導体検出器自体の静電容量は数十 pF から数百 pF にも達するのに対して、この方式ではフィードバック回路に接続された 1 pF から数 pF のキャパシタに検出器からの電荷が送り込まれることとなり、感度は著しく改善される。このようにして得られた□Dパルスを、出力ケーブルの特性インピーダンスにみあった□Eインピーダンス状態で信号として取り出す。半導体検出器の□Fの厚さは、印加電圧によって変わるので、それに伴って検出器自体の静電容量も印加電圧に依存するが、□C有感型の前置増幅器を用いると、パルス信号は検出器自体の静電容量や入力部の浮遊容量の影響をほとんど受けない。ただし、検出器部の静電容量の増加とともにノイズは増加する傾向にある。

Ge 半導体検出器に 1 MeV の γ 線が入射し、ここで全エネルギーが吸収された場合、 ε 値を 3 eV とすると、約□ア×□イ C の電荷が発生し、これが 1 pF のキャパシタに送り込まれた場合、キャパシタ両端の電圧は□ア×□ウ mV となり、これとほぼ同じパルス波高をもつパルスが出力から取り出される。

<A～Fの解答群>

- | | | | |
|-----------------|--------|------------|---------|
| 1 高 | 2 低 | 3 光 | 4 電圧 |
| 5 電荷 | 6 電子増倍 | 7 電子加速 | 8 発光 |
| 9 不感層 | 10 空乏層 | 11 グリッドの利用 | 12 静電容量 |
| 13 正孔移動による信号の利用 | | | |

<アの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 1.6 | 2 3.3 | 3 4.8 | 4 5.3 | 5 6.1 |
| 6 8.0 | 7 9.6 | | | |

<イの解答群>

- 1 10^{-10} 2 10^{-11} 3 10^{-12} 4 10^{-13} 5 10^{-14}
6 10^{-15}

<ウの解答群>

- 1 10^{-3} 2 10^{-2} 3 10^{-1} 4 1 5 10
6 10^2

II 前置増幅器からの出力信号は、増幅度可変の主増幅器に送られる。また、主増幅器には積分回路と微分回路とからなるパルス整形回路が組み込まれ、多くの場合、の短縮、パルス波形の適正化、積分作用による成分の軽減化がはかれる。ここで、、特にテールの部分が長いと、後続パルスが重畳する確率が大きくなり、が生じやすくなる。一方、パルス整形回路の時定数が短いと検出器からのが不完全となり、エネルギー分解能が悪くなる。特に、大型の Ge 検出器を用いたシステムの場合、時間は長くなり、そのため時定数は長めに設定せざるを得ないが、そうするとの影響を受けやすくなり、高計数率測定に際して不利となる。また、主増幅器には、パルスのあるいはオーバーシュートを軽減、消滅するための回路や直流分の変動を補償するためのなどが組み込まれている場合が多い。

<G～Mの解答群>

- 1 エッジ 2 パルス幅 3 電荷の収集 4 正孔の寿命
5 ノイズ 6 アンダーシュート 7 立ち上がり時間 8 パイルアップ
9 ベースラインレストアラ 10 ゼロクロス
11 ポールゼロ補償 12 ゲーテッド積分器
13 ピックオフ 14 コンスタントフラクション

Ⅲ この主増幅器の出力をマルチチャンネル波高分析器により、波高分析する。これは、ADC（アナログ-デジタル変換器）によりパルスの波高値を最大 1K から 16K チャンネルのデジタル量に変換したのち、分類、蓄積するもので、測定時間内に到来したパルスの波高値のヒストグラムが得られる。ADC の方式によっては、処理に時間がかかり、しかも、それはパルス波高に依存するので **N** による計数損失を補正するのは面倒である。この難点を改善するため、装置が生きている時間だけクロックタイマを動作させ、装置が生きている時間だけを測って、これを計測時間とし、**N** による計数損失を実質的に補償できるようにもなっている。これを **O** 方式と言う。

なお、最近では前置増幅器からの出力波形の全部分を超高速 ADC を用いて直ちにデジタル量に変換したのち、**P** 信号プロセッサにより、自動的に最適条件を見出しつつすべての信号処理を行う方式も用いられるようになってきた。

以上述べた波高分布スペクトルは、検出器の有効体積中で **Q** 放射線のエネルギーのスペクトルであって、必ずしも放射線のエネルギースペクトルそのものを示すものではない。したがって、放射線が検出器に入射して、検出器の有効領域の中で相互作用を起こして放射線のエネルギーが検出器物質で **Q** 過程を理解して、もとの放射線のエネルギー分布を読み取ることが大切である。

<N~Qの解答群>

- | | | | |
|----------|----------|---------------|----------|
| 1 タイマ | 2 リアルタイム | 3 デッドタイム | 4 ライブタイム |
| 5 サンプリング | 6 アナログ | 7 デジタル | 8 ハイブリッド |
| 9 発生した | | 10 荷電粒子に転移された | |
| 11 吸収された | | 12 相互作用を起こした | |

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の中から1つだけ選べ。

I 放射性同位元素を取り扱う際の安全管理では、作業者の被ばくを低減させることが重要である。作業者の外部被ばくを低減するには、(1)線源からの距離、(2)遮蔽及び(3)作業時間の三原則を検討する必要がある。今、800 MBq の ^{60}Co 線源を取り扱う場合について検討してみることにする。 ^{60}Co の実効線量率定数は 0.30 □ A とする。このことから、線源から 50 cm での線量率は □ B $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ となる。この線源が作業員側に対し厚さ 5.3 cm の鉛で囲まれている場合には、線量率は □ C $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ となる。ただし、鉛の半価層は 1.06 cm であり、ビルドアップ効果は無視する。その状態で 8 時間作業すると、作業員が受ける実効線量は □ D μSv となると予想される。このことから、作業員と線源の距離を変えて 100 cm にすると線量は □ E μSv となる。距離を変えずに 50 cm のままで同じ線量にするには遮蔽体の厚みを □ F cm 追加する。

<Aの解答群>

- | | | |
|--|--|---|
| 1 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ | 2 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ | 3 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ |
| 4 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}\cdot\text{h}^{-1}$ | 5 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ | |

<B～Fの解答群>

- | | | | | |
|--------|----------|-------|-------|--------|
| 1 1.1 | 2 2.1 | 3 3.2 | 4 20 | 5 30 |
| 6 60 | 7 90 | 8 120 | 9 240 | 10 480 |
| 11 960 | 12 1,200 | | | |

II 非密封の放射性同位元素を取り扱う場合には、内部被ばくをしないようにすること、さらには汚染を起こさないように心がける必要がある。使用に当たっては、化学的・物理的性質を十分理解しておくことが大切である。トリチウムで標識した水を取り扱う際には、蒸発などによる汚染のおそれがある。 ^{14}C で標識された炭酸バリウムの場合には、化合物の分解によって発生する $^{14}\text{CO}_2$ による汚染のおそれがある。これら放射性同位元素が飛散する可能性がある場合にはフード又はグローブボックスを使用する。また、グローブボックスから排気設備に連結する際には、その間にそれぞれに適した捕集用のトラップをつけることにする。捕集剤としては、トリチウム水の取扱いでは 、炭酸バリウムの取扱いでは がそれぞれ用いられる。

次に、作業中の万一の事故を想定して、排風機の故障によりフードから室内に100 MBqの $^{14}\text{CO}_2$ が逆流し、室内全体に均一に拡散した場合の空气中濃度を計算してみる。作業室の大きさは5 m×4 m×2.5 mである。空气中濃度は Bq/cm³となる。告示別表第2の第4欄に定められた空气中濃度限度は3 Bq/cm³であるから、空气中濃度限度を 。この状況で作業を30分間行った場合、作業者の吸入摂取量は最大で MBqと見積もられ、預託実効線量は mSvとなる。ただし、成人の呼吸量を毎分20リットルとする。告示別表第2の第2欄に定められた $^{14}\text{CO}_2$ の吸入摂取の場合の実効線量係数は 6.5×10^{-9} mSv/Bqである。実効線量係数は飛散する核種毎に異なるとともに、核種の によって異なることも知っておく必要がある。

作業中の室内の $^{14}\text{CO}_2$ 濃度をモニタリングするには室内空気を吸引し、トラップで捕集し、液体シンチレーションカウンタで測定する方法がとられている。HTOの空气中放射能濃度をモニタリングするには、同様のサンプリング装置を用いて トラップで捕集することになる。

<Gの解答群>

- | | | | |
|-------|---------|------|------|
| 1 活性炭 | 2 シリカゲル | 3 ろ紙 | 4 水銀 |
|-------|---------|------|------|

<Hの解答群>

- | | |
|---------------|----------|
| 1 希塩酸 | 2 過酸化水素水 |
| 3 水酸化ナトリウム水溶液 | 4 エタノール |

<Iの解答群>

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 1.0 | 2 2.0 | 3 3.0 | 4 4.0 |
|-------|-------|-------|-------|

<Jの解答群>

- | | |
|-------|--------|
| 1 超える | 2 超えない |
|-------|--------|

<Kの解答群>

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 0.6 | 2 0.9 | 3 1.2 | 4 1.8 |
|-------|-------|-------|-------|

<Lの解答群>

- | | | | |
|-----------|----------|---------|---------|
| 1 0.00012 | 2 0.0078 | 3 0.012 | 4 0.078 |
|-----------|----------|---------|---------|

<Mの解答群>

- | | | | |
|-------|-------|------|-------|
| 1 酸化数 | 2 昇華性 | 3 沸点 | 4 化学形 |
|-------|-------|------|-------|

<N、Oの解答群>

- | | |
|-------------------|-----------------|
| 1 活性炭 | 2 モノエタノールアミン水溶液 |
| 3 EDTA-2ナトリウム塩水溶液 | 4 コールド |
| 5 酸化マンガン | |

Ⅲ 放射線発生装置を使用する室には、人が通常出入りする出入口に、原則として室内に人がみだりに入ることを防止する の設置および、使用する旨を示す の設置が義務づけられている。当該発生装置の運転を停止して室内に入る際に室内の空間線量率が下がっていることを確認するための放射線モニタも重要な安全管理設備である。

サイクロトロンで放射性同位元素を製造した場合には、特にターゲット周辺は非常に高い線量率となっている。このため、冷却時間を十分にとるとともに、入室にあたってはサーベイメータを携帯する。中性子が発生する室内では空気の放射化によって が生成することが知られている。高エネルギーの電子加速器では加速された電子ビームが物質に当たると制動放射線が発生する。この制動放射線により光核反応で生成する空気の放射化も考慮する必要がある。主に酸素から 、窒素から が生成することが知られている。このため、空気の放射化で生成する核種の生成量を推定しておくことが放射線管理上求められる。

<P、Qの解答群>

- | | | |
|----------|------------|----------------|
| 1 非常停止装置 | 2 入退管理システム | 3 インターロック |
| 4 個人キー | 5 自動表示装置 | 6 ハンドフットクロスモニタ |

<R～Tの解答群>

- | | | | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1 ^3H | 2 ^{11}C | 3 ^{13}N | 4 ^{15}O | 5 ^{16}N |
| 6 ^{18}F | 7 ^{19}O | 8 ^{41}Ar | | |

問4 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。

非密封放射性同位元素の ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{51}Cr 、 ^{60}Co 、 ^{131}I を取り扱っている施設がある。これらの放射性同位元素を用いた実験を行うためには、あらかじめ使用する核種や化合物の物理的・化学的性質を考慮した実験計画を立て、被ばくや汚染防止対策を講じて実験を行い、廃棄物にも注意を払う必要がある。

Ⅰ 実験室のフード1で ^{32}P を使用した実験が行われている。 ^{32}P は半減期□A□日で β^- 壊変する核種で、最大エネルギー□B□keVの β^- 線を放出する。エネルギーの高い β^- 線は原子核の近傍を通過するときに□C□線を発生し、その確率は原子番号の□D□乗に比例する。このため作業中の視認性を確保しつつ□C□線の発生を抑え、 ^{32}P の β^- 線を有効に遮蔽するために、厚さ□E□mm程度の□F□板が一般に遮蔽材として用いられる。

フード1の隣のフード2で使用されている ^{35}S は、最大エネルギー□G□keVの β^- 線放出核種であり、その測定には□H□検出装置が有効である。一方、 ^{32}P の β^- 線は高速で物質中を運動して□I□光を発生するので、シンチレータを用いずに水溶液のまま□H□検出装置で測定することもよく行われている。これらのフードの汚染検査には、使用核種から□J□式サーベイメータが使用できる。

フード2の実験終了後に直接法で一部に汚染が認められたので、間接法により表面汚染密度を測定した。□J□式サーベイメータをスミアろ紙に密着して測定したところ、380 cpmであった。バックグラウンドを80 cpm、機器効率を0.4、線源効率を0.25、ふき取り面積を100 cm²、ふき取り効率を0.5とすると、この汚染の表面汚染密度は□ア□Bq·cm⁻²と見積もられた。

<A、Bの解答群>

- | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|----------|
| 1 5.27 | 2 8.02 | 3 14.3 | 4 18.6 | 5 27.7 |
| 6 87.5 | 7 167 | 8 514 | 9 606 | 10 1,711 |
| 11 3,541 | | | | |

<Cの解答群>

- | | | | |
|-------|-------------|------------|------------|
| 1 陽子 | 2 β^+ | 3 γ | 4 α |
| 5 中性子 | 6 制動放射 | 7 消滅放射 | |

<Dの解答群>

- | | | | |
|-----|-----|-------|-----|
| 1 1 | 2 2 | 3 3.5 | 4 5 |
|-----|-----|-------|-----|

<Eの解答群>

- | | | | |
|-------|-------|------|------|
| 1 0.1 | 2 1.0 | 3 10 | 4 30 |
|-------|-------|------|------|

<Fの解答群>

- | | | | |
|--------|----------|--------|-----|
| 1 アクリル | 2 アルミニウム | 3 鉛ガラス | 4 鉄 |
|--------|----------|--------|-----|

<Gの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|----|-------|---|------|---|------|---|------|----|-------|
| 1 | 5.27 | 2 | 8.02 | 3 | 14.3 | 4 | 18.6 | 5 | 27.7 |
| 6 | 87.5 | 7 | 167 | 8 | 514 | 9 | 606 | 10 | 1,711 |
| 11 | 3,541 | | | | | | | | |

<Hの解答群>

- | | | | | | |
|---|-------------|---|-----------------|---|---------------------|
| 1 | 液体シンチレーション | 2 | NaI(Tl)シンチレーション | 3 | ZnS(Ag)シンチレーション |
| 4 | BGOシンチレーション | 5 | Ge半導体 | 6 | 表面障壁型Si半導体 |
| 7 | 端窓型GM管 | 8 | 電離箱 | 9 | BF ₃ 計数管 |

<Iの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|----|---|--------|---|---------|---|------|
| 1 | 蛍 | 2 | チェレンコフ | 3 | 熱ルミネセンス | 4 | レーザー |
| 5 | りん | | | | | | |

<Jの解答群>

- | | | | | | |
|---|-------------|---|-----------------|---|---------------------|
| 1 | 液体シンチレーション | 2 | NaI(Tl)シンチレーション | 3 | ZnS(Ag)シンチレーション |
| 4 | BGOシンチレーション | 5 | Ge半導体 | 6 | 表面障壁型Si半導体 |
| 7 | 端窓型GM管 | 8 | 電離箱 | 9 | BF ₃ 計数管 |

<アの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|---|-----|---|-----|---|----|---|----|---|-----|
| 1 | 0.5 | 2 | 1.0 | 3 | 30 | 4 | 60 | 5 | 300 |
|---|-----|---|-----|---|----|---|----|---|-----|

II 実験室の反対側にあるフード3では、 ^{51}Cr と ^{60}Co を用いた実験を行っている。 ^{51}Cr は 壊変するのに対し、 ^{60}Co は β^- 壊変するが、これらはともに を放出する。これらの核種からの放射線を効率よく測定するには 検出器が有効である。これらの核種による汚染の除去には状況に応じて種々の方法が用いられるが、EDTAのように多くの金属イオンと水溶性の を形成する除染剤を用いることが有効である。

フード3に隣り合うフード4は ^{131}I 取扱い専用としている。ヨウ素は揮散しやすく、ヨウ素を含む水溶液は、特に にするとヨウ素が気体として拡散するおそれがある。 ^{131}I を使用する実験はヨウ素を有効に吸着する トラップを装着したグローブボックス内で行う。

<Kの解答群>

- | | | | | |
|-------------|-------------|------|------------|------------|
| 1 β^- | 2 β^+ | 3 EC | 4 α | 5 γ |
|-------------|-------------|------|------------|------------|

<Lの解答群>

- | | | | | |
|-------------|-------|--------------|--------------|--------|
| 1 β 線 | 2 陽電子 | 3 γ 線 | 4 α 線 | 5 中性子線 |
| 6 制動放射線 | | | | |

<M、Nの解答群>

- | | | |
|--------------|-------------------|--------------|
| 1 液体シンチレーション | 2 NaI(Tl)シンチレーション | 3 ガスフロー型GM管式 |
| 4 Si半導体 | 5 キレート | 6 イオン会合体 |
| 7 コロイド | 8 ポリマー | |

<O、Pの解答群>

- | | | |
|--------------|---------|----------|
| 1 酸性 | 2 アルカリ性 | 3 中性 |
| 4 有機アミン付着活性炭 | 5 シリカゲル | 6 ドライアイス |
| 7 アルミナ | | |

III フード3と4だけを使った実験の廃液がたまった貯留槽中の放射能を測定したところ、1L中に ^{60}Co が $1.0 \times 10^2 \text{ Bq}$ 、 ^{131}I が $4.0 \times 10^1 \text{ Bq}$ の2核種のみが入っていることがわかった。これを排水するためには、倍以上に希釈しなければならない。希釈せずに排水するには、最低週間以上放射能の減衰を待つ必要がある。ただしこの事業所では曜日を決めて排水を行っているため、減衰を待つ時間は1週間単位とし、 ^{60}Co と ^{131}I の告示別表第2第6欄の排水中の濃度限度はそれぞれ $2 \times 10^{-1} \text{ Bq/cm}^3$ 、 $4 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^3$ である。いずれの方法においても排水が濃度限度以下であることを確認してから排水する。

<イの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 1.2 | 2 1.5 | 3 2.0 | 4 3.0 | 5 4.0 |
|-------|-------|-------|-------|-------|

<ウの解答群>

- | | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 1 | 2 2 | 3 4 | 4 8 |
|-----|-----|-----|-----|

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。

Ⅰ 放射線防護の目的は、有害な□A□影響を防止し、□B□影響を容認できるレベルまで制限することである。

□A□影響にはしきい線量がある。しきい線量は、概念として、それ以下の線量の被ばくでは症状や影響が検出されないというものである。しきい線量を超えて被ばくすると線量の増加につれて症状の発生確率が上昇し、重篤度が高くなる。しきい線量は、被ばくの形式や器官・組織に依存して様々な値をとる。一般に、分割して被ばくした場合、同一線量を1回で被ばくした場合と比べてしきい線量は□C□。ICRP2007年勧告では、全身γ線被ばくした成人集団の1%に症状が現れる吸収線量としてしきい線量を推定し、一時的脱毛については約□ア□Gy、造血機能低下については約□イ□Gyとしている。

□B□影響にはしきい線量はないと仮定されている。□B□影響には発がん□D□影響の2つがある。□B□影響を評価するための指標の1つとして、1Sv当たりの□B□影響の発生頻度の推定値を与える□E□がある。

<A～Eの解答群>

- | | | | |
|--------|---------|---------------|-----------|
| 1 確定的 | 2 確率的 | 3 身体的 | 4 遺伝性(的) |
| 5 低い | 6 変わらない | 7 高い | 8 名目リスク係数 |
| 9 線量係数 | 10 倍加線量 | 11 線量・線量率効果係数 | |

<ア、イの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-----|-----|-----|
| 1 0.1 | 2 0.5 | 3 1 | 4 4 | 5 6 |
| 6 10 | 7 15 | | | |

II 放射線防護のためには被ばく線量を知る必要がある。被ばく線量の限度は防護量で指定される。防護量には、吸収線量に **F** を乗じた等価線量や、それにさらに **G** を乗じて全身にわたって総和をとった実効線量がある。しかし、一般的な放射線管理で組織・臓器の線量を実測することは実質的には不可能である。そこで、実際の被ばく線量の管理においては、防護量と対応づけられた実用量が定められている。外部被ばくに関する実用量として、周辺線量当量、方向性線量当量、および個人線量当量がある。実用量の値は防護量の値と比べて **H** ように定められている。

放射線防護の目標が達成されているか否かを判断するために行われる放射線の測定・結果の解釈・評価を含む一連の行為をモニタリングという。モニタリングは、**I** モニタリングと個人モニタリングに大別できる。

I モニタリングにおいて、 γ 線や中性子線等の強透過性放射線を測定する場合、実用量としては **J** が用いられる。

個人モニタリングにおいて、**K** 線量と対応づけられた実用量は **ウ** cm 線量当量である。日常のモニタリングで **K** 線量を評価する場合で、体幹部が前面からほぼ均等に外部被ばくすることが予想される場合は、**L** (妊娠可能な女子においては **M**) において **ウ** cm 線量当量を測定・評価する。この **ウ** cm 線量当量の基準は、組織等価物質でできた ICRU **N** ファントムの入射表面から **ウ** cm の深さの線量から定められる。一方、個人モニタリングにおいて皮膚の防護量として **オ** 線量を考える場合、防護量と対応づけられた実用量は **エ** μm 線量当量である。

<F~Jの解答群>

- | | | |
|-----------|------------|-----------|
| 1 放射線減弱係数 | 2 放射線加重係数 | 3 放射線吸収係数 |
| 4 実効線量係数 | 5 組織加重係数 | 6 放射能移行係数 |
| 7 下回らない | 8 等しくなる | 9 上回らない |
| 10 集団 | 11 環境 | 12 宇宙 |
| 13 周辺線量当量 | 14 方向性線量当量 | 15 個人線量当量 |

<K~Oの解答群>

- | | | | |
|------|--------|--------|--------|
| 1 等価 | 2 吸収 | 3 実効 | 4 照射 |
| 5 胸部 | 6 腹部 | 7 頭部 | 8 背部 |
| 9 球 | 10 楕円体 | 11 立方体 | 12 スラブ |

<ウ、エの解答群>

- | | | | | |
|------|-------|-------|------|------|
| 1 1 | 2 3 | 3 7 | 4 10 | 5 30 |
| 6 70 | 7 100 | 8 300 | | |

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 内部被ばくは放射性核種が体内に取り込まれた場合に生じる。放射性核種が体内に取り込まれる経路としては、経口摂取、吸入摂取、皮膚からの吸収、創傷からの吸収がある。一般に、これら4つの経路の中では、□Aが最も体内に取り込まれにくい。内部被ばくの評価には、体内にある放射性核種の同定と放射能を測定・評価する必要がある。内部被ばくによる放射能の評価は体外計測法と□B法によって行われる。

体外計測法は、体内に存在する放射性核種の定性・定量を目的として、体外においた放射線測定装置により放射線を測定するもので、 γ 線や□Cを体外から測定する。全身を測定する装置は一般にホールボディカウンタ(WBC)と呼ばれる。WBCはバックグラウンド放射線による計数を少なくするための遮蔽と検出器および放射線計測部からなっており、検出器を遮蔽室内に設置する□D WBCと検出器周囲を遮蔽した□E WBCに分類することができる。

<Aの解答群>

- 1 経口摂取 2 吸入摂取 3 皮膚からの吸収 4 創傷からの吸収

<Bの解答群>

- 1 イムノアッセイ 2 バイオアッセイ 3 パーソナルアッセイ
4 プロテインアッセイ 5 ルシフェラーゼアッセイ

<Cの解答群>

- 1 α 線 2 β 線 3 X線 4 中性子線 5 陽子線

<D、Eの解答群>

- 1 室内型 2 精密型 3 移動型 4 簡易型 5 中間型

II WBC に用いる遮蔽室は宇宙線や遮蔽室の外部にある放射性核種からの放射線を遮蔽するためのもので、基本遮蔽材料としては主に鉛または鉄が用いられる。遮蔽材料の厚さは、一般に鉛で \boxed{F} cm、鉄で \boxed{G} cm 程度であり、これ以上厚さを増してもあまり効果はない。

遮蔽材料としては原子番号が大きく比重の大きな鉛が最も適している。しかし、通常の鉛には鉛の化学的な純度とは無関係に半減期 22 年の \boxed{H} がかなり含まれているので注意しなければならない。 \boxed{H} の娘核種 \boxed{I} から放出される最大エネルギー 1.16 MeV の β 線に起因する \boxed{J} により約 0.5 MeV 以下の自然計数が増加する。鉛は鉄に比べ高価なため、WBC 用の遮蔽室の主な遮蔽材としては鉄が用いられる事が多い。

遮蔽室は主に外部にある放射性核種からの放射線を遮蔽するためのものであるが、測定時に、人体に取り込まれた放射性核種から放出される γ 線が遮蔽室の壁に入射し、 γ 線のエネルギーが大きい場合には主に \boxed{K} による散乱線が検出器に入射することがあるため、低エネルギー部の計数率が増加することがある。この影響は遮蔽材料の原子番号が \boxed{L} 程少ないので、主な遮蔽材料が鉄の場合には、その内面に 3 mm 程度の \boxed{M} を内張りすると軽減する。

遮蔽の最も内側の物質が \boxed{M} のように原子番号が \boxed{L} ものを使用した場合には、内側の物質と γ 線との相互作用によって放出される特性 X 線が検出器に入射するため、低エネルギー部にピークを生ずることがある。これを除去するには \boxed{M} の内面にさらに 0.5~3 mm 程度の \boxed{N} を内張りするのがよい。無酸素 \boxed{N} は放射性不純物をほとんど含まない遮蔽材として広く用いられている。しかし、鉛や鉄に比べ高価なので、鉛あるいは鉄材による基本遮蔽の内側に使われていることが多い。

<F、Gの解答群>

- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 1 1~5 | 2 5~10 | 3 10~20 | 4 20~30 |
| 5 30~40 | 6 40~50 | | |

<H、Iの解答群>

- | | | | | |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 ^{60}Co | 2 ^{210}Bi | 3 ^{214}Bi | 4 ^{210}Pb | 5 ^{214}Pb |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|

<Jの解答群>

- | | | | |
|--------------|--------|-----------------|---------|
| 1 消滅放射線 | 2 光核反応 | 3 散乱 γ 線 | 4 制動放射線 |
| 5 δ 線 | | | |

<Kの解答群>

- | | | | |
|--------|----------|-----------|---------|
| 1 光電効果 | 2 トムソン散乱 | 3 コンプトン効果 | 4 電子対生成 |
| 5 光核反応 | | | |

<Lの解答群>

- | | |
|-------|-------|
| 1 大きい | 2 小さい |
|-------|-------|

<Mの解答群>

- | | | | |
|----------|-------|-----|---------|
| 1 アルミニウム | 2 クロム | 3 鉛 | 4 バナジウム |
| 5 アクリル板 | | | |

<Nの解答群>

- 1 チタン 2 マンガン 3 バナジウム 4 銅
5 ジルコニウム

Ⅲ 遮蔽室を有する WBC で体内の放射能を測定する場合であっても、被検者を測定する前にバックグラウンドを測定し、その値を差し引く必要がある。バックグラウンドとして、宇宙線に由来する MeV の がある。この他には、ラドンの影響がある。大地を構成する土壌・岩石から空气中に放出されたラドンは、地表面から大気中に散逸するか、または建物の床を通して屋内大気に侵入する。遮蔽室を有する WBC は、重量が大きいので、1 階や地下に設置されることが多い。このため室内ラドン濃度は高くなる傾向がある。バックグラウンドに対する寄与としては、 とその娘核種である が重要である。これらの核種の多くは大気浮遊塵に付着して存在しているので、 によりバックグラウンドを低下させることができる。この他、光電子増倍管のガラス窓などに含まれる もバックグラウンドの原因となるので注意が必要である。

<Oの解答群>

- 1 0.51 2 0.61 3 1.13 4 1.43 5 1.76

<Pの解答群>

- 1 制動放射線 2 特性 X 線 3 蛍光 X 線 4 散乱 γ 線
5 消滅放射線

<Q~Sの解答群>

- 1 ^{22}Na 2 ^{40}K 3 ^{60}Co 4 ^{131}I 5 ^{137}Cs
6 ^{210}Bi 7 ^{214}Bi 8 ^{210}Pb 9 ^{214}Pb

<アの解答群>

- 1 加湿器 2 イオン発生機 3 空気清浄機



