

管理技術 I

放射性同位元素による放射線障害の防止に関する管理技術 I

(法律別表第 1 に掲げる課目 (2) ~ (6) 及び (7) 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：5 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～Ⅲの文章の□の部分に入る最も適切な語句を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 人体を構成する基本単位は細胞であり、細胞が高線量の放射線照射を受けると細胞死が引き起こされ、臓器・組織の機能障害等が生じて放射線障害が観察されるようになる。

骨髄、皮膚、腸上皮などにある幹細胞は活発に分裂しているが、高線量の放射線照射を受けると、細胞の機能が損なわれ、数回の分裂を経てから死に至ることが多い。このような状態を□Aと呼ぶが、DNAやタンパク質の合成等、細胞の代謝機能はある程度維持された状態であり、細胞を培養して□Bを形成するかどうかで生死が判定される。

一方、末梢血のリンパ球、成熟卵母細胞、肝細胞、□Cなど通常は分裂を行わない分化・成熟した細胞は、高線量の放射線照射を受けると、分裂することなく死ぬ。このような状態を□Dと呼ぶ。□Dには、□Eと□Fの2つのタイプがある。

□Eでは、細胞や核の膨化、DNAの不規則な分解等が起き、細胞膜が破れて細胞の構成成分が飛散するため、周辺に炎症等の病変を惹起する。一方、□Fでは、核濃縮、クロマチンの凝縮、サイズに規則性のあるDNAの□Gが特徴的で、細胞膜に包まれたまま死細胞が丸ごとマクロファージ（食細胞）により貪食、消化されるため、周囲に炎症等の病変を引き起こさない。

<A～Dの解答群>

- | | | |
|-----------|------------|--------|
| 1 増殖死 | 2 間期死 | 3 遅延死 |
| 4 スフェロイド | 5 マイクロスフェア | 6 コロニー |
| 7 毛のう上皮細胞 | 8 精原細胞 | 9 神経細胞 |

<E～Gの解答群>

- | | | |
|-------------|----------|----------|
| 1 エクソサイトーシス | 2 ネクローシス | 3 アポトーシス |
| 4 分散化 | 5 断片化 | 6 泡沫化 |

II 1906年、フランスのベルゴニーとトリポンドーは、ラットの精巣にラジウムの γ 線を照射して生殖細胞の分化・成熟の過程と障害の程度とを対比させ、細胞の放射線感受性について次のような結論を導き出した。「①細胞分裂の頻度が高いものほど、②将来行う細胞分裂の回数が多いものほど、③形態及び機能が未分化なものほど、細胞の放射線感受性は高い」。すなわち、分化・成熟した細胞は、分裂しないので放射線感受性が 、死ににくい、未分化で分裂が盛んな細胞ほど感受性が 、死にやすいということになり、臓器・組織の放射線感受性は、それらを構成している細胞の致死感受性を反映したものとなる。

赤血球、白血球などの血液細胞（血球）を造る臓器・組織には、骨髄、胸腺、胎児期の や肝臓などが含まれる。成人の骨髄は、造血幹細胞が活発に分裂して造血機能を維持している赤色骨髄（赤色髄）と、脂肪化して造血機能を失った白色骨髄（黄色髄）で構成されるが、加齢に従って赤色髄の割合は 。

赤色骨髄に含まれる造血幹細胞及び前駆細胞は放射線感受性が高く、比較的低線量の被ばくでも造血機能低下が起り、血球の供給が止まるため、次第に末梢血中の血球数の減少が認められるようになる。被ばく線量にもよるが、被ばく直後から減少が認められるのは、白血球の一種で、免疫機能を担う である。

より少し遅れて減少し始めるのは、別のタイプの白血球である顆粒球で、その大半を占める は、細菌の貪食・殺菌等、重要な感染防御の役割を担っている。 に続いて減少が認められるのは、血液凝固に関わる血小板である。 で酸素と二酸化炭素のガス交換を行う赤血球は、寿命が約120日と長いので、骨髄からの供給低下の影響を直ちには受けにくく、最も遅く減少する。

<H、Iの解答群>

- | | | |
|------|------|--------|
| 1 高く | 2 低く | 3 中程度で |
|------|------|--------|

<J、Kの解答群>

- | | | | |
|---------|------------------------|------|---------|
| 1 腎臓 | 2 <small>すい</small> 膵臓 | 3 脾臓 | 4 大きくなる |
| 5 小さくなる | 6 変わらない | | |

<L～Nの解答群>

- | | | | |
|-------|--------|--------|--------|
| 1 好中球 | 2 好酸球 | 3 好塩基球 | 4 リンパ球 |
| 5 単球 | 6 樹状細胞 | 7 心臓 | 8 肺 |
| 9 脳 | | | |

Ⅲ 放射線によって誘発されるがんは、体細胞突然変異が原因で起きる確率的影響に分類され、原爆被爆者の調査結果からは、発症するまでの最短の 期間は、白血病で 2～3 年、固形がんでは 10 年程度とされている。

放射線防護上は、どのくらいの線量の被ばくでどのくらいがんが発生するかを評価することが重要であり、 (Gy または Sv) あたりの放射線誘発がんの発生確率をリスク係数と呼ぶ。低線量放射線被ばくによる生涯の発がん確率について、国際放射線防護委員会 (ICRP) の勧告では、原爆被爆者等のがん罹患率等のデータに基づき、性及び年齢で平均化された生涯のリスク推定値として、がんの名目リスク係数が提示されている。

放射線被ばくにより生殖細胞の遺伝子突然変異や染色体異常が引き起こされ、それが子孫に伝達されて レベルで現れるのが確率的影響としての遺伝性 (的) 影響である。遺伝性 (的) 影響の有意な は原爆被爆者などの調査結果からは認められていないが、動物実験などでは確かめられているので、重要な放射線防護の対象とされ、がんと同様、ICRP 勧告で名目リスク係数が提示されている。

遺伝性 (的) 影響の発生率の推定法には、動物実験により求めた突然変異率から、線量率効果、動物種差、1 種類の形質からすべての優性遺伝への換算、表現型の重篤度などを補正・外挿して遺伝性 (的) 影響の発生率を算定する方法 (直接法) と、突然変異率を自然発生レベルの 2 倍にするのに必要な線量 (倍加線量) を動物実験から求め、ヒトでの遺伝疾患の自然発生率から推定する間接法 (倍加線量法) がある。一般に、倍加線量の値が大きいほど遺伝性 (的) 影響は とされている。

ICRP の勧告では、 の算定のため、個々の臓器・組織について、組織加重係数を定めている。この組織加重係数の大きさ (数値) は、個々の臓器・組織の確率的影響に対する感受性 (がんや遺伝性 (的) 影響の起こりやすさ) を表しており、細胞死の起こりやすさに基づく臓器・組織の致死感受性とは区別される。

<O～Rの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|------|--------|
| 1 潜伏 | 2 進展 | 3 持続 | 4 集団線量 |
| 5 単位線量 | 6 年間線量 | 7 集団 | 8 個体 |
| 9 増加 | 10 減少 | | |

<S、Tの解答群>

- | | | | |
|----------|----------|--------|--------|
| 1 起こりやすい | 2 起こりにくい | 3 吸収線量 | 4 等価線量 |
| 5 線量当量 | 6 実効線量 | | |

問2 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 ^{60}Co は、□ A □ して ^{60}Ni となり、その励起状態から、2本の γ 線が放出される。 β 線を適切に遮蔽したものが ^{60}Co 密封 γ 線源として市販されている。

^{60}Co 線源からの γ 線が物質に入射したときの相互作用を考える際、これらの γ 線のエネルギーは□ B □ のしきい値、□ ア □ MeV より大きい、□ B □ の頻度は一般的には無視できる。最も頻度の高い相互作用は□ C □ である。この過程では γ 線が物質中の電子と衝突して、そのエネルギーの一部を電子に与え、高速電子が生成する。□ C □ を繰り返すことによって、 γ 線のエネルギーは減少し、最終的には□ D □ によって γ 線は消滅する。

<A～Dの解答群>

- | | | | |
|---------------|----------------|----------------|-----------|
| 1 α 壊変 | 2 β^- 壊変 | 3 β^+ 壊変 | 4 核異性体転移 |
| 5 内部転換 | 6 トムソン散乱 | 7 光電効果 | 8 コンプトン散乱 |
| 9 電子対生成 | | | |

<アの解答群>

- | | | |
|---------|---------|---------|
| 1 0.511 | 2 1.022 | 3 2.044 |
|---------|---------|---------|

II γ 線によって生成した高速電子は、生体中でその飛跡に沿って断続的に電離を起こして、エネルギーを物質に与え、イオンやラジカルなどの集合体である [E] を生成する。細胞内 DNA に損傷が生成する過程には、DNA 分子に電離が起きる [F] 作用と、飛跡に沿って生成した [E] からのラジカルが拡散して DNA に損傷を与える [G] 作用がある。[G] 作用は、ラジカル捕捉剤の投与で DNA 損傷の生成あるいは生体影響が [H] されることによって検出できる。

放射線による DNA 損傷の生成機構の研究には、プラスミド DNA がよく用いられる。この分子は超らせん構造を持つ環状の 2 本鎖 DNA である。放射線によって 1 本鎖切断が生成すると超らせん構造がほどけて緩い環状 DNA となり、2 本鎖切断が生成すると直鎖状の DNA となる。これらの 3 種の状態はゲル中で電場をかけたときの移動度が異なるので、電気泳動法によって簡便に分離・識別でき、それらの切断の収量を定量することができる。1 本鎖切断および 2 本鎖切断の収量は、低線量域では線量に対して [I] 的に増えていく。2 本鎖切断の収量は、1 本鎖切断の収量の概ね [イ] 分の 1 程度とされている。水溶液中で放射線照射されたプラスミド試料中に無傷で残っている、超らせん構造を持つ DNA の割合は放射線量に対して [J] 的に減少する。用いるプラスミド DNA の分子量が大きくなると線量当たりの DNA 切断の収量は [K] なる。

<E~Hの解答群>

- | | | | |
|-------|------------|--------|------|
| 1 カーマ | 2 シンチレーション | 3 スプール | 4 相乗 |
| 5 相加 | 6 直接 | 7 間接 | 8 軽減 |
| 9 増幅 | | | |

<I~Kの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 指数関数 | 2 対数関数 | 3 一次関数 | 4 二次関数 |
| 5 大きく | 6 小さく | 7 一定と | |

<イの解答群>

- | | | |
|-------|---------|-----------|
| 1 4~8 | 2 40~80 | 3 400~800 |
|-------|---------|-----------|

Ⅲ 放射線の生物影響を評価する上で最も基本的な量は、 L である。しかし、被ばくの生物影響の程度は、同じ L であっても放射線の種類、エネルギー、線量率、被ばく部位によって異なる。放射線防護の観点からは次のように定義された M を用いて健康影響の程度を見積もっている。 M は、臓器毎の N と臓器によって定められた O の積を足し合わせたものであり、 N は L と P の積で表わされる。

外部被ばくに対する評価の実用量としては、 M の代わりに、組織等価物質で作られた球あるいは平板（スラブ）ファントムの表面から $ウ$ の深さにおける線量当量である $ウ$ 線量当量が用いられている。また、皮膚の N に対しては $エ$ 線量当量が用いられている。

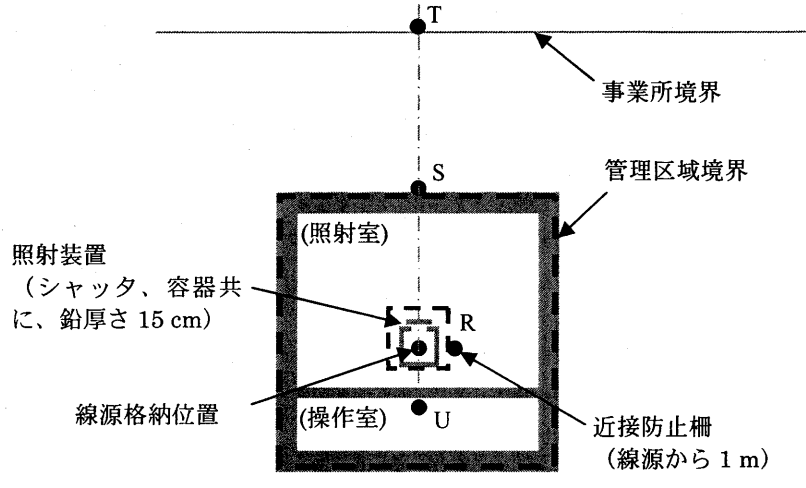
<L～Pの解答群>

- | | | |
|-------------|-----------|----------|
| 1 照射線量 | 2 吸収線量 | 3 実効線量 |
| 4 線質係数 | 5 RBE | 6 質量吸収係数 |
| 7 組織加重係数 | 8 放射線加重係数 | 9 深部線量 |
| 10 モニタリング線量 | 11 預託線量 | 12 等価線量 |

<ウ、エの解答群>

- | | | | | |
|--------------------|--------------------|--------|--------|--------|
| 1 10 μm | 2 70 μm | 3 1 mm | 4 3 mm | 5 1 cm |
|--------------------|--------------------|--------|--------|--------|

問3 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。



ある事業所では、放射線測定器の校正を行うため、コンクリート壁（厚さ 50 cm）で囲まれた照射室と操作室からなる γ 線照射施設において、 ^{137}Cs 密封線源（200 GBq）1 個だけを装備した照射装置（シャッタ、容器共に鉛厚さ 15 cm）を用いている。照射室及び操作室の間はコンクリート壁（厚さ 30 cm）で隔てられている。また、照射装置には近接防止のため、線源から 1 m の位置に柵を設けている。

γ 線照射施設の管理区域の境界はコンクリート外壁面とし、その外壁面上の点 S は、線源から 10 m 離れている。また、事業所の境界上の点 T は、線源から 25 m 離れている。

シャッタ開放時の鉛容器の照射孔は点 S 方向に十分にコリメートされている。操作室内で最も線源に近接する点 U は、線源から 2 m 離れている。照射装置のシャッタ操作は操作室から行われ、シャッタ開放中は照射室には立ち入らない。

なお、散乱線及びスカイシャインの影響は考えないものとする。

Ⅰ この施設では、1 週間 40 時間、3 月間で最大 500 時間まで線源の使用が認められている。人が常時立ち入る場所における 1 週間の実効線量は、照射室内の柵上の点 R で最大 μSv 、操作室の点 U で最大 μSv となる。管理区域の境界における 3 月間の実効線量は、点 S で最大 μSv となる。また、事業所の境界における 3 月間の実効線量は、点 T で最大 μSv となる。

法令で定める人が常時立ち入る場所における線量限度は 1 週間につき mSv、管理区域の設定に係る実効線量は 3 月間につき mSv、事業所の境界における線量限度は 3 月間につき μSv であることから、評価結果はこれらの値を下回っている。

ただし、評価時間は、人が常時立ち入る場所においては 1 週間につき 40 時間、管理区域の境界においては 3 月間 500 時間、事業所の境界においては 3 月間 2,184 時間とし、計算には次の表の値を用いることとする。

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 15 cm	コンクリート 30 cm	コンクリート 50 cm
^{137}Cs	7.8×10^{-2}	6.1×10^{-8}	8.4×10^{-2}	6.9×10^{-3}

<A~Dの解答群>

- | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 2.0×10^{-5} | 2 1.6×10^{-4} | 3 8.0×10^{-4} | 4 1.9×10^{-3} |
| 5 3.8×10^{-2} | 6 4.8×10^{-1} | 7 6.0×10^{-1} | 8 6.0×10^0 |
| 9 1.7×10^1 | 10 8.6×10^1 | 11 1.6×10^2 | 12 3.0×10^2 |
| 13 5.4×10^2 | 14 9.4×10^2 | 15 1.5×10^3 | |

<E~Gの解答群>

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|----------|
| 1 0.25 | 2 0.50 | 3 0.75 | 4 1.0 | 5 1.2 |
| 6 1.3 | 7 1.5 | 8 2.5 | 9 30 | 10 40 |
| 11 100 | 12 150 | 13 250 | 14 300 | 15 1,000 |

II この施設では、放射線測定器のエネルギー特性試験を行えるようにするため、照射装置に既存の¹³⁷Cs 密封線源以外に⁶⁰Co 密封線源(50 GBq)1個を追加で装備して使用することを計画している。ただし、¹³⁷Cs 密封線源と⁶⁰Co 密封線源は同時には使用しない。また、1週間で最大40時間、3月間で最大500時間まで線源を使用することを考える。

この場合、人が常時立ち入る場所における1週間の実効線量は、照射室内の柵上の点Rで最大 \boxed{H} μSv 、操作室の点Uで最大 \boxed{I} μSv となる。管理区域の境界における3月間の実効線量は、点Sで最大 \boxed{J} μSv となる。また、事業所の境界における3月間の実効線量は、点Tで最大 \boxed{K} μSv となる。この評価結果は、法令で定める管理区域の設定に係る実効線量及び事業所の境界における線量限度を超えている。

これらの値を超えないための方策として、最大使用時間の短縮又は⁶⁰Co 密封線源の数量(放射能)の減少を検討する。使用時間の短縮及び数量の減少は必要最小限とする。このとき、⁶⁰Co 線源だけを使用した場合を考慮すると、最大使用時間を \boxed{L} 当たり \boxed{M} 時間又は⁶⁰Co 密封線源の数量を \boxed{N} GBq とすることで、法令で定める管理区域の設定に係る実効線量及び事業所の境界における線量限度を下回る。

なお、計算には次の表の値を用いることとする。

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 15 cm	コンクリート 30 cm	コンクリート 50 cm
⁶⁰ Co	3.1×10^{-1}	2.6×10^{-4}	1.5×10^{-1}	2.4×10^{-2}

<H~Kの解答群>

- | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 1.6×10^{-4} | 2 8.0×10^{-4} | 3 3.8×10^{-2} | 4 4.8×10^{-1} |
| 5 6.0×10^{-1} | 6 6.0×10^0 | 7 1.7×10^1 | 8 8.6×10^1 |
| 9 1.6×10^2 | 10 2.2×10^2 | 11 3.0×10^2 | 12 5.4×10^2 |
| 13 9.4×10^2 | 14 1.5×10^3 | 15 1.9×10^3 | |

<Lの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 1週間 | 2 1月間 | 3 3月間 | 4 6月間 | 5 1年間 |
|-------|-------|-------|-------|-------|

<M、Nの解答群>

- | | | | | |
|------|-------|-------|-------|--------|
| 1 15 | 2 28 | 3 34 | 4 36 | 5 42 |
| 6 87 | 7 150 | 8 250 | 9 340 | 10 420 |

Ⅲ 放射線測定器のエネルギー特性試験を行う上で、 ^{137}Cs 密封線源及び ^{60}Co 密封線源による 1 cm 線量当量率がほぼ同一になるように照射したい。ここでは、簡単のため、実効線量率が同一になるように照射することを考える。

照射室には、放射線測定器に照射する線量率を変化させることを目的として、測定器の設置位置を線源から 1~3.5 m の距離で変えられる設備を備えている。放射線の線束は、 するので、2 つの線源によって与えられる同一距離における実効線量率の相対値が 10 倍を超えたら、早めに線源を更新することとする。

^{137}Cs の半減期は 年、 ^{60}Co の半減期は 年であるため、 ^{137}Cs 密封線源 (200 GBq) 及び ^{60}Co 密封線源 (50 GBq) を同時に更新した場合、次に線源を更新するのは 年後となる。

なお、 $\ln 2$ 及び $\ln 10$ はそれぞれ 0.69 及び 2.3 とする。

<Oの解答群>

- | | | |
|---------------|----------|--------------|
| 1 距離に比例 | 2 距離に反比例 | 3 距離の 2 乗に比例 |
| 4 距離の 2 乗に反比例 | | |

<P~Rの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|------|-------|
| 1 2.5 | 2 5.3 | 3 7.4 | 4 10 | 5 16 |
| 6 22 | 7 27 | 8 30 | 9 35 | 10 40 |

問4 次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号、数値又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 作業者の放射線防護のためのモニタリングを、その対象によって分類した場合、作業環境のモニタリングと作業者の個人モニタリングとに大別される。まず、作業環境のモニタリングについて考察する。

外部被ばくに対する作業環境のモニタリングには、種々の動作原理に基づくサーベイメータが用いられている。 γ 線用サーベイメータの中で、□ア式サーベイメータは最も感度が高く、低線量率の場所での測定に適している。一方、線量率が比較的高く、 γ 線エネルギーが特定できない場所では、エネルギー依存性の最も小さい□イ式サーベイメータが適している。また、直線加速器などの高エネルギー放射線発生装置を使用する場所では、 γ 線用に加え、□ウなどを利用した□A線用のサーベイメータが使用される。

作業環境の表面汚染は□Bの原因となる。表面汚染に対する作業環境のモニタリングの一般的な方法には、サーベイメータによる直接法とふき取り検査による間接法(□C法)とがある。例えば、取り扱う核種が ^{137}Cs であった場合、直接法に用いられるのは、通常、□エ式サーベイメータである。また、取り扱う核種が ^3H であった場合、□C法で得た試料の放射能測定には、□Dがしばしば用いられる。今、 ^{137}Cs でほぼ一様に汚染された表面の数箇所を、有効窓面積 20 cm^2 の□エ式サーベイメータにより測定し、計数率(正味)の平均値として 300 cpm を得たとする。この測定における計数効率(計数率/壊変率)を 0.25 と仮定すると、この汚染の表面汚染密度は、おおよそ□E $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ と算定される。

空気汚染に対する作業環境のモニタリングには、通常、ダストモニタ、あるいはダストサンプラが用いられる。捕集用濾紙の放射能測定では、□F及び□Gの壊変生成物の影響に注意が必要である。捕集後4時間以上を経て測定した場合には、□Gの壊変生成物の影響はほとんど無視してよい。今、定格吸引流量 $200\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ のダストサンプラを10時間運転し、濾紙上に ^{137}Cs の放射能 10 Bq を捕集したとする。この濾紙の捕集効率を 90% と仮定すると、この期間中の空気中の ^{137}Cs の平均放射能濃度は□H $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-3}$ と算定される。

<ア～エの解答群>

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

<Aの解答群>

- | | | | |
|--------|-------|--------|-------|
| 1 高速電子 | 2 重粒子 | 3 消滅放射 | 4 中性子 |
|--------|-------|--------|-------|

<B、Cの解答群>

- | | | |
|---------------|-----------|-----------|
| 1 サブマージョンのみ | 2 外部被ばくのみ | 3 内部被ばくのみ |
| 4 外部被ばくと内部被ばく | 5 コンタクト | 6 ストリップ |
| 7 スミア | 8 プロット | 9 マウント |

<Dの解答群>

- | | | | |
|---|--------------------------|---|-------|
| 1 | $4\pi\beta\gamma$ 同時計数装置 | 2 | Ge検出器 |
| 3 | 液体シンチレーションカウンタ | | |

<Eの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|---|-----|---|-----|---|-----|---|----|----|-----|
| 1 | 0.1 | 2 | 0.2 | 3 | 0.6 | 4 | 1 | 5 | 2 |
| 6 | 6 | 7 | 10 | 8 | 20 | 9 | 60 | 10 | 100 |

<F、Gの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|
| 1 | ^{219}Rn | 2 | ^{220}Rn | 3 | ^{222}Rn | 4 | ^{223}Rn |
|---|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|

<Hの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|----------------------|---|----------------------|---|----------------------|---|----------------------|
| 1 | 7.5×10^{-8} | 2 | 9.3×10^{-8} | 3 | 1.3×10^{-7} | 4 | 1.8×10^{-7} |
| 5 | 2.6×10^{-7} | 6 | 3.6×10^{-7} | 7 | 5.1×10^{-7} | 8 | 7.5×10^{-7} |

II 次に、作業者の個人モニタリングについて考察する。

作業者の外部被ばくに対する個人モニタリングには、種々の測定原理に基づく個人線量計が用いられている。例えば、OSL 線量計は $\boxed{\text{I}}$ を、蛍光ガラス線量計は $\boxed{\text{J}}$ を利用した個人線量計である。また、中性子線量測定用の個人線量計には CR-39 などの $\boxed{\text{K}}$ が用いられている。

個人線量計の基本的な装着部位（基本装着部位）は、特別な事情のある場合を除き、通常は、 $\boxed{\text{L}}$ である。今、全身が均等被ばくする場所において、防護エプロンを着用し、襟部及び基本装着部位であるエプロンの $\boxed{\text{M}}$ に、個人線量計各 1 個を装着して作業をしたとする。襟部の測定値が H_a 、基本装着部位の測定値が H_b のとき、実効線量は式 $\boxed{\text{N}}$ を用いて算定するのが適切である。

体内汚染に対する個人モニタリングの方法の一つに体外計測法がある。スクリーニング用の体外計測装置には、通常、プラスチックシンチレーション検出器、あるいは $\boxed{\text{O}}$ が用いられている。体外計測法による 6 ヶ月間隔の定期検査を受けてきた作業者に、ある時の検査で初めて有意な体内量が検出されたとする。この場合、摂取が $\boxed{\text{P}}$ 生じていたと仮定して算定すると、摂取量の評価値は最も大きい値となる。

<I、Jの解答群>

- | | | |
|----------------|---------------|------------|
| 1 エキソ電子放射 | 2 エレクトロルミネセンス | 3 ケミルミネセンス |
| 4 ラジオフォトルミネセンス | 5 フリーラジカルの生成 | 6 輝尽発光 |

<Kの解答群>

- | | | |
|-----------|------------|-----------|
| 1 エレクトレット | 2 フォトダイオード | 3 固体飛跡検出器 |
| 4 有機発光体 | | |

<L、Mの解答群>

- | | | |
|-------------|---------------|-------------|
| 1 男子女子ともに胸部 | 2 男子は胸部、女子は腹部 | 3 男子女子ともに腹部 |
| 4 内側 | 5 外側 | 6 内外任意の側 |

<Nの解答群>

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 $\sqrt{H_a^2 + H_b^2}$ | 2 $\sqrt{H_a \cdot H_b}$ | 3 $[H_a + H_b]$ |
| 4 $[0.11H_a + 0.89H_b]$ | 5 $[0.50H_a + 0.50H_b]$ | 6 $[0.72H_a + 0.28H_b]$ |

<Oの解答群>

- | | | |
|-------------|-------------|--------------|
| 1 Ge 検出器 | 2 GM 計数管 | 3 NaI(Tl)検出器 |
| 4 Si(Li)検出器 | 5 チェレンコフ検出器 | 6 比例計数管 |

<Pの解答群>

- | | |
|-----------------|---------------------|
| 1 この 6 ヶ月間毎日 | 2 今回の検査の 3 ヶ月前に 1 回 |
| 3 今回の検査の直前に 1 回 | 4 前回の検査の直後に 1 回 |

問5 シンチレーション検出器を用いた放射線計測に関する次の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 エネルギーを吸収すると直ちに蛍光を発する物質があり、これらは発光型の放射線検出素子として利用される。このような蛍光物質をシンチレータと呼ぶ。シンチレータはその材質により、有機シンチレータと、無機シンチレータに大別される。

有機シンチレータには、スチルベンや□A□などの結晶、プラスチックシンチレータ、および液体シンチレータ等がある。これらの蛍光物質には、芳香族化合物等の□B□を有する分子が多い。発光強度は□A□の結晶を基準として相対的に示されてきた。これらの分子を構成する主な原子は炭素や水素であるため、高エネルギーγ線に対する□C□が小さい。また原子番号が小さいので、高エネルギーγ線との相互作用における□D□の占める割合が小さく、全吸収ピークが見られないこともある。なお、□D□の起こる確率は原子番号の□ア□乗に比例することが知られている。

一方、代表的な無機シンチレータにはNaI(Tl)があり、γ線用サーベイメータに多用されている。この物質は□E□性があり、大気中では不安定なため、結晶は容器に密閉されている。そのため、α線の測定には適さない。また、β線の測定にも適さない。何故ならば、β線が容器で遮蔽されることに加えて、NaIは実効原子番号が大きく□F□の影響が大きいためである。TlはNaIに□G□を形成するための添加物であり、結晶の発光効率を高め、また発光波長を調整して光検出器との適合性を向上させる役割を果たしている。

NaI(Tl)以外の無機シンチレータには、測定する放射線の種類に特化したものもあり、例えば、特にα線用として用いられる蛍光体に□H□がある。この物質では大きな単結晶が得られないため、粉末状の微結晶体が用いられている。また、特に中性子線用として用いられる蛍光体に□I□がある。これは間接電離放射線である中性子の検出に(n, α)反応を利用するものである。

<A～Dの解答群>

- | | | | |
|---------|------------|----------|---------|
| 1 ベンゼン | 2 トルエン | 3 アントラセン | 4 クレゾール |
| 5 不対電子 | 6 自由電子 | 7 σ電子 | 8 π電子 |
| 9 飛程 | 10 透過力 | 11 線減弱係数 | 12 OER |
| 13 光電吸収 | 14 コンプトン散乱 | 15 電子対生成 | |

<アの解答群>

- | | | | |
|---------|-------|-------|-------|
| 1 0.5～1 | 2 1～2 | 3 2～3 | 4 4～5 |
|---------|-------|-------|-------|

<E～Gの解答群>

- | | | | |
|----------|------------|-----------|---------|
| 1 揮発 | 2 引火 | 3 潮解 | 4 風解 |
| 5 前方散乱 | 6 後方散乱 | 7 コンプトン散乱 | 8 ラマン散乱 |
| 9 ライトガイド | 10 スカベンジャー | 11 禁制帯 | 12 発光中心 |

<H、Iの解答群>

- | | | | |
|------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| 1 BGO | 2 $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ | 3 CsI(Na) | 4 CsI(Tl) |
| 5 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ | 6 LiI(Eu) | 7 LSO | 8 ZnS(Ag) |

II シンチレータの発光を電気信号に変換する素子に、光電子増倍管が広く用いられている。多くの発光光子が光電子増倍管へ入射するように、反射材を蛍光体の各面のうち光電子増倍管に接続されていない面に巻く。また、光電子増倍管の入射窓に接する面には光の を低減させるために、光学グリス等を塗布する。光電子増倍管に入射した光子は、 で光電子に変換される。 には、光電効果が起きやすい物質としてアルカリ金属の化合物等が蒸着されており、光電面とも呼ばれる。

光電子増倍管には外部から V 程度の電圧が印加されている。発生した光電子は、静電場で加速され と呼ばれる電極に衝突する。この衝撃で からは衝突した電子よりも多数の電子が放出されて、次段の に向かう。このような増幅が十段ないし十数段程度繰り返されることで電子数は指数関数的に増大し、最終的には測定可能な強度の負の電流として から出力される。

<J～Mの解答群>

- | | | | |
|--------|-----------|---------|-------|
| 1 全反射 | 2 乱反射 | 3 屈折 | 4 複屈折 |
| 5 アノード | 6 フォトカソード | 7 ダイノード | |

<イの解答群>

- | | | | |
|--------|----------|-------------|----------------|
| 1 5～25 | 2 50～250 | 3 500～2,500 | 4 5,000～25,000 |
|--------|----------|-------------|----------------|

Ⅲ NaI(Tl)の蛍光スペクトルのピーク波長は 415 nm である。この結晶に γ 線のエネルギーが吸収されると、1 MeV につき約 38,000 個の光子が発生する。簡単のために、すべての光子の波長を 415 nm とすると、光子 1 個のエネルギーは $\boxed{\text{ウ}}$ eV であるから、吸収されたエネルギーの約 $\boxed{\text{エ}}$ % が光として放出される。なお、光子のエネルギーを ε [eV]、波長を λ [nm] とすると、 $\varepsilon \lambda = 1,240$ の関係がある。

ここで、240 keV の γ 線のエネルギーが結晶に吸収された場合を具体的に考えてみる。結晶内部で発生した 9,000 個の光子のうち 50% が光電面に到達し、光電面の量子効率が 20% とすると、発生する光電子数の期待値は 900 個である。また、その統計的なゆらぎの大きさは標準偏差 $\sigma = \boxed{\text{オ}}$ 個であり、 σ で決まるエネルギー分解能 (光電ピークの半値幅) の理論的な最小 (最良) 値は、 $\boxed{\text{カ}}$ keV である。なお、 $2\sqrt{2\ln 2} = 2.35$ とする。

ここで光電子増倍管の増幅率を 10^6 倍とすると、240 keV の γ 線のエネルギーが全て結晶に吸収された場合に $\boxed{\text{M}}$ から出力される電荷の総量の期待値は $|Q| = \boxed{\text{キ}}$ C である。なお、電気素量を 1.6×10^{-19} C とする。

<ウ～カの解答群>

- | | | | | |
|-------|--------|------|------|-------|
| 1 0.3 | 2 1 | 3 3 | 4 4 | 5 9 |
| 6 11 | 7 14 | 8 19 | 9 30 | 10 38 |
| 11 90 | 12 300 | | | |

<キの解答群>

- | | | | |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 1.4×10^{-9} | 2 1.4×10^{-10} | 3 1.4×10^{-11} | 4 1.4×10^{-12} |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|

