

管 理 測 定 技 術

試験が始まる前にこのページに書いてあることをよく読んでください。裏面以降は試験問題になっているので、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（13 ページ）

3 注意事項：

- ① 机の上に出してよい物は、受験票、鉛筆（HB 又は B）又はシャープペンシル、鉛筆削り、消しゴム、時計に限ります。計算機能・通信機能・辞書機能等の付いた時計を机の上に出すことはできません。
- ② 電卓（電子式卓上計算機）及び下敷きの使用はできません。
- ③ 携帯電話等の通信機器は使用できません。（電源を切ってカバン等にしまってください。）
- ④ 問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び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。ただし、試験問題の内容に関する質問にはお答えできません。
- ⑤ 試験中に気分の悪くなった場合などは、手を挙げ試験監督員の指示に従ってください。
- ⑥ 試験終了の合図があったら、すぐ筆記用具を置いて、解答をやめてください。
試験監督員が解答用紙を集め終わるまでは、席を離れることはできません。
なお、問題用紙は持ち帰っていただいて結構です。
- ⑦ 不正行為をした場合は、受験資格を失います。

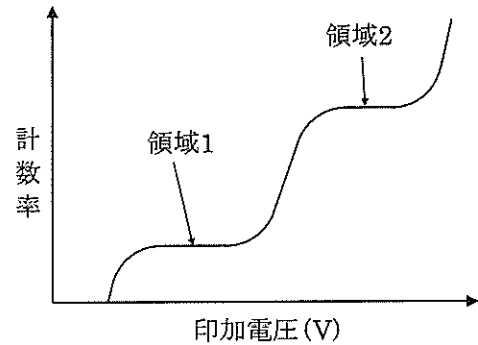
4 解答用紙の扱いについて：

- ① 解答用紙は機械で読み取りを行いますので、解答用紙の注意事項に従い丁寧に記入してください。また折り曲げたり汚したりしないでください。
- ② 筆記用具は、鉛筆（HB 又は B）又はシャープペンシルを使用し、記入を訂正する場合には消しゴムできれいに消してください。また、消しくずは残さないようにしてください。
- ③ 解答用紙の所定の欄に氏名・受験地・受験番号を必ず記入してください。特に受験番号は受験票と照合して正しく記入してください。
- ④ 試験は択一方式で、解答は 1 つの間につき 1 つだけ選択してください。2 つ以上選択（マーク）した場合は、零点になります。
- ⑤ 記入欄以外の余白及び裏面には、何も記入しないでください。
- ⑥ 以上の記入方法の指示に従わない場合、必要とされる記入事項が正しく記入されていない場合には採点されません。

問1 次のI～IIの文章の()の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。ただし、各選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

I 表面汚染検査計の校正に使用するために、均一な天然ウラン面線源(線源部の有効面積: 150 cm^2)を内部封入型 2π ガスフロー比例計数管を用いて測定した。この面線源が1年前に作製されたとすると、測定対象となる主な放射線は、 ^{238}U 及び(イ)からの(ロ)と、(ハ)及び $^{234\text{m}}\text{Pa}$ からの(ニ)である。

比例計数ガスとして(A)を流し、印加電圧を上昇させながら計数率を測定し、横軸に印加電圧、縦軸に計数率をプロットした。右図のように両者の関係には、領域1及び領域2のような(B)と呼ばれる計数率変化の小さい部分が生じた。このとき、領域1で計数される放射線は、(ホ)であり、また、領域2で計数される放射線は、(ヘ)である。



比例計数管は、(C)により、放射線による信号をノイズに比べ十分に大きくできるため、領域1で得られた計数率からバックグラウンド計数率を差し引いた正味の計数率は、面線源から放出される(ホ)の(D)に相当する。

< I の A～D の解答群 >

- | | | | |
|---------|----------|---------|-----------|
| 1 メタンガス | 2 ハロゲンガス | 3 酸素ガス | 4 比例計数管領域 |
| 5 プラトー | 6 ガス増幅 | 7 放電電圧 | 8 放射能 |
| 9 表面放出率 | 10 電離箱領域 | 11 後方散乱 | 12 自己吸収 |

< I のイ～への解答群 >

- | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 α 線 | 2 β 線 | 3 α 線+ β 線 | 4 ^{224}Ra |
| 5 ^{231}Pa | 6 ^{232}Th | 7 ^{234}Th | 8 ^{233}U |
| | | | 9 ^{234}U |

II バックグラウンド計数率を差し引いて得られた表面汚染検査計の正味の計数率 N_s (cps) と表面汚染密度 A_s (Bq/cm^2) との関係は、放射性核種の α (β) 線の放出割合が 100% の場合には、 $N_s = A_s \times \epsilon_1 \times \epsilon_s \times W$ で与えられる。

ここで、この表面汚染検査計の ϵ_1 は、(A) と呼ばれ、測定器固有の特性や線源との幾何学的条件で決まる。一方、 ϵ_s は、(B) と呼ばれ、線源における α (β) 線の全放出率に対する α (β) 線の (C) の割合で与えられる。また、 W (cm^2) は、表面汚染検査計の有効窓面積を表す。

前述の I で示した天然ウラン面線源の全面を厚さ $7 \text{ mg}/\text{cm}^2$ のアルミニウム板で覆って面線源とし、 2π ガスフロー型比例計数管で測定したところ、計数率は 1875 cps であった。次に、GM 管式表面汚染検査計(有効窓面積: 20 cm^2)を用いて、汚染検査時と同じように線源面にできる限り近づけて測定したところ、計数率として 9000 cpm を得た。両測定においてバックグラウンド計数率及び測定器の数え落としをともに無視すると、この GM 管式表面汚染検査計の ϵ_1 は、(イ) とな

る。

上記の測定で求めた ε_i の値を ^{14}C による表面汚染の評価に適用した場合、天然ウラン面線源の β 線平均エネルギーが ^{14}C のそれと比べて (D) ので、この値は ^{14}C に対しては (E) となり、結果として表面汚染は (F) に評価されることになる。一方、 ε_s の値は、汚染線源の性状により変化するため実験的に求めることが望ましいが、 ^{14}C の評価においてこの値が不明な場合には、(ロ) と同様に (ハ) を使用することが推奨されている。

< II の A ~ F の解答群 >

- | | | | | |
|----------|----------|--------|----------|------|
| 1 絶対検出効率 | 2 相対検出効率 | 3 機器効率 | 4 幾何学的効率 | |
| 5 線源効率 | 6 表面放出率 | 7 全放出率 | 8 等しい | 9 低い |
| 10 高い | 11 過小 | 12 過大 | 13 適切 | |

< II のイ ~ ハの解答群 >

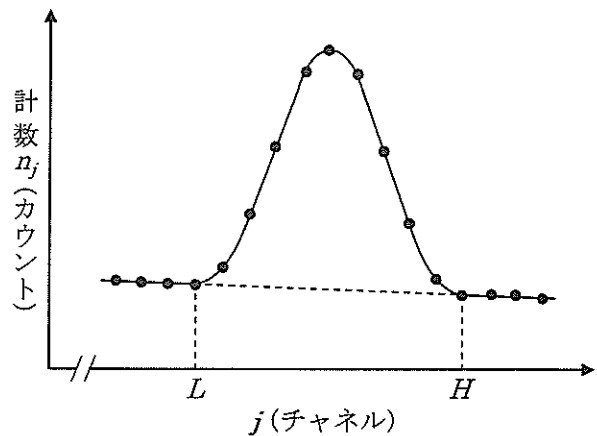
- | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------|----------------|-------------------|---------------------|
| 1 0.08 | 2 0.20 | 3 0.25 | 4 0.50 | 5 0.60 |
| 6 0.75 | 7 1.0 | 8 ^3H | 9 ^{32}P | 10 ^{55}Fe |
| 11 ^{90}Sr - ^{90}Y | 12 ^{210}Po | | | |

問2 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。ただし、各選択肢は必要に応じて 2 回以上使ってもよい。

Ge 検出器を用いた γ 線スペクトロメータにより放射能を測定する手順を考えよう。

I 測定する線源と同じ核種、形状の放射能標準線源があれば、次の手順により比較的簡単に被測定線源の放射能を決定することができる。

まず、標準線源を Ge 検出器の入射窓前方一定位置におき、その出力パルスの波高分布スペクトルをマルチチャンネルアナライザで記録する。得られたスペクトルの全吸収ピークに着目し、このピークが存在するチャンネル領域の計数の総和 N_{gs} を求める。この N_{gs} からピークの下側に横たわる連続部分を直線分布で近似して差し引き、ピーク計数 N_{ns} を求める。 j チャンネルの計数を n_j と記述し、ピーク下限チャンネルを L 、上限チャンネルを H とすれば、ピーク計数 N_{ns} は次式で計算できる。



$$N_{ns} = (\text{イ}) - \frac{ (\text{ロ}) }{ (\text{ハ}) } (n_L + n_H)$$

連続部分の計数誤差を小さくするため、例えば両側の 3 点の平均をそれぞれとり、次式で計算することもある。

$$N_{ns} = (\text{ニ}) - \frac{ (\text{ホ}) }{ (\text{ヘ}) } \left(\sum_{j=L-2}^L n_j + \sum_{j=H}^{H+2} n_j \right)$$

この N_{ns} を測定時間 T で割ればピーク計数率 $m_s = N_{ns} / T$ が得られる。この場合マルチチャネルアナライザの時間設定を (A) モードにしておけば、(B) を除外した時間がタイマーに記録されるため、(C) に起因した (D) の補正を行う必要がない。

次に、被測定線源を同一位置に置き、同様の測定を行い、そのピーク計数率 $m_x = N_{nx} / T$ を求める。被測定線源の放射能 A_x (Bq) は

$$A_x = \frac{\text{(ト)}}{\text{(チ)}} A_s$$

として決定する。ここに A_s は (E) の放射能 (Bq) である。

< I の A ~ E の解答群 >

- | | | | |
|------------|----------|----------|---------|
| 1 リアルタイム | 2 デッドタイム | 3 ライブタイム | 4 サム効果 |
| 5 パイルアップ | 6 数え落とし | 7 標準線源 | 8 被測定線源 |
| 9 バックグラウンド | | | |

< I のイ ~ チの解答群 >

- | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------|----------|-----------------------|
| 1 1 | 2 2 | 3 3 | 4 4 | 5 5 |
| 6 6 | 7 $H-L+6$ | 8 $H-L+1$ | 9 $H-L$ | 10 $\sum_{j=L}^H n_j$ |
| 11 $\sum_{j=L+1}^{H-1} n_j$ | 12 $\sum_{j=L-2}^{H+2} n_j$ | 13 m_x | 14 m_s | |

II 被測定線源と異なる核種の標準線源を用いる場合には、通常、次のような方式により被測定線源の放射能を決定する。

まず、ピーク計数効率 ε を γ 線エネルギーの関数として決定する。ここでいうピーク計数効率とは、標準線源のピーク計数率 m_s を (A) で除したものである。この場合の標準線源として、 ^{22}Na 、 ^{54}Mn 、 ^{57}Co 、 ^{60}Co 、 ^{88}Y 、 ^{137}Cs のように、半減期が長く、かつ γ 線放出割合がよくわかった核種が選ばれる。ここで、 γ 線放出割合とは着目する γ 線放出率と壊変率 (放射能) との比である。標準線源の放射能は別の方法により正確に決定されているものとする。

これらの標準線源のスペクトルをそれぞれ記録し、前述の I で示した手順によりピーク計数率 n_{si} をそれぞれ求める。1つの核種がエネルギーの異なる複数本の γ 線を放出する場合にはそれぞれのピークについて同様の計算を行う。それぞれのピーク計数効率 ε は

$$\varepsilon = \frac{m_s}{\text{(A)}} = \frac{m_s}{\text{(B)} \times \text{(C)}}$$

となる。(B) の単位は Bq である。このようにして求めたいいくつかのピーク計数効率を γ 線エネルギーの関数としてグラフ用紙にプロットし、各プロットを滑らかな曲線で結ぶ。これをピーク計数効率校正曲線と呼ぶ。この場合、(D) グラフ用紙を用いると、150 keV 以上のエネルギー領域でおおよそ直線となるので便利である。なお、これらの測定は個別の標準線源によって行っ

てもよいが、混合核種標準線源により一度に行うことも可能である。

次に、被測定線源について同様の測定、計算を行い、ピーク計数率 m_x を求める。当該ピークの γ 線エネルギーにおけるピーク計数効率 ε_x はピーク計数効率校正曲線から読みとる。そうすると、被測定線源の放射能 A_x は

$$A_x = \frac{m_x}{\varepsilon_x \times (E)}$$

として決定できる。

なお、これらの測定において、線源の設定位置は Ge 検出器から離し、(F) γ 線による (G) が無視できるようにするのがのぞましい。線源・検出器間距離が短い場合は、(G) の影響が無視できなくなる場合があるが、その影響の補正は簡単ではない。

これら一連の操作は最初に手間がかかるが、一度ピーク計数効率校正曲線を作成しておけば、線源・検出器間距離や線源の形状を変えない限り、この校正曲線は以後も活用可能であり、日常的には特定の核種、例えば ^{137}Cs 標準線源でその一定性を確認するだけでよい。

< II の A ~ G の解答群 >

- | | | | |
|-------------|------------------|-----------------|----------|
| 1 サム効果 | 2 コンプトン効果 | 3 光電効果 | 4 カスケード |
| 5 競合 | 6 γ 線放出割合 | 7 γ 線放出率 | 8 放射能 |
| 9 正方眼 | 10 片対数 | 11 両対数 | 12 数え落とし |
| 13 バックグラウンド | | | |

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。

Ⅰ 放射性同位元素による汚染の検査法には、間接法と直接法がある。間接法はろ紙等により表面を拭き取り、その放射能を測定し汚染を検出する方法であり、(A)の汚染の検出に適している。直接法はサーベイメータを用いて汚染を検出する方法であり、(A)と(B)の汚染を合わせて検出できる。非密封の放射性同位元素³H、⁹⁰Sr、¹³⁷Csを取扱う施設において、³Hによる汚染は直接法では検出が難しい場合が多い。間接法による³Hの放射能測定を行うには(C)が適している。⁹⁰Srや¹³⁷Csの場合は直接法も間接法も実施できる。直接法に用いる測定器として、⁹⁰Srの汚染に対しては(D)が、¹³⁷Csの汚染の検出に対しては(D)や(E)が有効である。

³Hで標識した水は、蒸発したり、空気中の水分と(F)したりして飛散することがあるので、³Hを取扱う際にはフードやグローブボックス内で行うことが望ましい。作業中の³Hで標識された水の飛散を調べるために行う空気中濃度の測定の際には、エアサンプラーを用い、(G)で一定時間捕集する。捕集後、(G)を加熱して発生する水をコールドトラップで捕集し、融解して回収した水を(C)で測定する。また、実験室内の空気を直接水トラップにバブリングしたり、コールドトラップを用いて水蒸気を捕集する方法もある。

⁹⁰Srや¹³⁷Csをバイアルから小分けする場合には、汚染の拡大を防ぐためバットの中で行うようにするとともに、被ばくを防ぐための遮へい用の衝立てとして、⁹⁰Srには(H)、¹³⁷Csには(I)が用いられる。

<ⅠのA～Iの解答群>

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 遊離性 | 2 固着性 | 3 GM管式サーベイメータ |
| 4 NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ | 5 ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータ | |
| 6 液体シンチレーションカウンタ | 7 NaI(Tl)井戸型シンチレーションカウンタ | |
| 8 同位体交換 | 9 同位体分離 | 10 ろ紙 |
| | | 11 活性炭 |
| 12 シリカゲル | 13 鉛板 | 14 アクリル板 |

Ⅱ 診断、治療及びトレーサー実験等に用いられるヨウ素の放射性同位体としては、¹²³I、¹²⁵I、¹²⁸I、¹³¹Iなどがある。¹²³Iは半減期13.3時間で主に159 keVのγ線を放出し、(A)に利用されている。¹²⁵Iは半減期59.4日で主に35.5 keVのγ線とTeの特性X線を放出し、(B)に利用される。¹²⁸Iは半減期25.0分で443 keVのγ線等を放出し、ヨウ素の中性子捕獲反応で生成することから、(C)に利用される。¹³¹Iは半減期8.02日であり、β⁻線を放出するので、(D)に利用されている。また、¹³¹Iからは放射性の(E)が生成する。トレーサー実験には、比較的半減期の長い¹²⁵Iや¹³¹Iが用いられる。放射性ヨウ素で標識された化合物を使用する場合、(F)を加えたり、酸性にしたり、加熱したりすると、分解し、周辺を汚染することがあるので注意が必要である。このため、フードやグローブボックス内で取り扱うようにする。揮散したヨウ素を捕集

するには (G) が用いられる。

< II の A ~ G の解答群 >

- | | | | |
|---------------------------|-----------------------|----------|---------|
| 1 前立腺がんに対する小線源療法 | 2 甲状腺がんや機能亢進症に対する内用療法 | | |
| 3 シングルフォトン放射断層撮影法 (SPECT) | 4 陽電子放射断層撮影法 (PET) | | |
| 5 放射化分析 | 6 荷電粒子励起 X 線分析 (PIXE) | 7 クリプトン | |
| 8 キセノン | 9 テルル | 10 還元剤 | 11 酸化剤 |
| 12 中和剤 | 13 活性炭 | 14 シリカゲル | 15 アルミナ |

III ^{32}P のみを取り扱う施設において、 ^{32}P リン酸溶液を購入してトレーサー実験を行った。使用時の放射能は 500 MBq であった。実験終了直後に、実験室で間接法による汚染検査を行った。床面の 100 cm^2 をろ紙で拭き取り、GM 計数装置 (計数効率: 20%) にて 1 分間測定した。ここで、拭き取り効率は 0.50 とする。バックグラウンド計数を除いた正味の計数は 1200 カウントであった。この床面での表面汚染密度は (A) $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ となる。

実験終了直後に、貯留槽の放射能を測定することにした。貯留槽内の水量は 1 m^3 であった。 20 cm^3 を採水し、アルミニウム皿に蒸発乾固した。その放射能を GM 計数装置 (計数効率: 20%) で 10 分間測定したところ、バックグラウンド計数を除いた正味の計数は 1200 カウントであった。水中の放射能濃度は (B) $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-3}$ になる。なお、前日には放射能は検出されておらず、 ^{32}P の実験の際の器具等の洗浄水の流入によるものと推定された。このことは、貯留槽に使用量の (C) 分の 1 が流入したことに相当する。2 週間後にこれと同様のトレーサー実験を 500 MBq の ^{32}P を用いて行い、前回と同量の ^{32}P が貯留槽に流入したとすると、その直後の貯留槽中の ^{32}P の濃度は (D) $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-3}$ になると推定される。ただし、このとき貯留槽内の水量は 2 m^3 とし、また、 ^{32}P の半減期は 14 日とする。

< III の A ~ D の解答群 >

- | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 0.125 | 2 0.185 | 3 0.25 | 4 0.375 | 5 0.5 |
| 6 0.75 | 7 1.0 | 8 2.0 | 9 2.5 | 10 5.0 |
| 11 10 | 12 500 | 13 1000 | 14 1500 | 15 2000 |

問4 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 非密封の放射性同位元素を取り扱う作業では、空気汚染による(A)を生じない作業環境をつくることが重要である。空気の汚染には放射性物質の空気中への飛散率が関係している。飛散の度合いは放射性物質の化学的性質、物理的性状、そして作業形態が影響する。物質の化学的性質としての揮発性についてみると、例えば、(B)では放射性同位元素は飛散しないが、(C)では化学反応によって放射性同位元素が揮発する可能性がある。また、(D)のような放射性気体を扱う作業ではさらに飛散し易くなる。物理的性状についてみると、特に液状、粉末状、塊状では、(E)のもので飛散率は最も小さい。作業形態についてみると、溶媒抽出分離、蒸発乾固、静置の各操作では、一般に(F)で最も飛散率が大きくなる。

< I の A～F の解答群 >

- | | | | | |
|----------------------|----------------------------|-----------------------------|---------|-------|
| 1 外部被ばく | 2 全身被ばく | 3 内部被ばく | 4 部分被ばく | |
| 5 ^{137}CsI | 6 K^{131}I | 7 H_2^{35}S | 8 液状 | 9 粉末状 |
| 10 塊状 | 11 溶媒抽出分離 | 12 蒸発乾固 | 13 静置 | |

II 放射性同位元素を貯蔵施設にて保管する際には、放射性物質を直接入れる内容器的他に外容器を用意する。線源が入った内容器表面の汚染を調べるには(A)を用いる。低エネルギーβ線放出核種である(B)で標識された有機化合物は(C)で分解しやすい。このため、これらの化合物の水溶液は(D)℃程度、ベンゼン溶液は(E)℃程度で貯蔵するのが望ましいとされている。

< II の A～E の解答群 >

- | | | | |
|-------------------|-------------------|---------|-------------------|
| 1 スミア法 | 2 サーベイ法 | 3 絶対法 | 4 ^{14}C |
| 5 ^{18}F | 6 ^{32}P | 7 外部放射線 | 8 自己放射線 |
| 9 消滅放射線 | 10 -5 | 11 2 | 12 8 |

III 排水中の ^{45}Ca 濃度を液体シンチレーションカウンタで測定する場合には、水と溶け合う(A)にシンチレータを溶かしたものが用いられてきたが、現在では、水と(B)を形成する乳化シンチレータが多く用いられる。一方、排水中の ^{32}P の放射能測定では、シンチレータを用いず(C)を計測することができる。いずれの場合も、あらかじめ、測定試料の(D)を調べ、それが不十分な場合には(E)を行い、また、有機物で着色している場合には、(F)を加えてこれを除去することが望ましい。

<ⅢのA～Cの解答群>

- | | | | |
|-----------|----------|---------|-------------|
| 1 トルエン | 2 クロロホルム | 3 ジオキサン | 4 ベンゼン |
| 5 エマルジョン | 6 均一溶液相 | 7 白色沈殿 | 8 シンチレーション光 |
| 9 チェレンコフ光 | 10 燐光 | 11 放射光 | |

<ⅢのD～Fの解答群>

- | | | | |
|---------|--------|--------|---------|
| 1 pH | 2 透明度 | 3 揮発性 | 4 沸点 |
| 5 蒸留 | 6 溶媒抽出 | 7 ろ過 | 8 シリカゲル |
| 9 界面活性剤 | 10 活性炭 | 11 濃硝酸 | |

IV 放射性同位元素を取り扱う作業を計画する際には、必要な試薬などの数量について予測する必要がある。例えば、無担体の $^{45}\text{Ca}^{2+}$ 水溶液から10 MBqを分取し、これに安定なカルシウム(原子量：40)を加えて、カルシウムの比放射能を $1 \times 10^9 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ とするのに必要な Ca^{2+} の量は(A)グラムである。

また、放射能は時間とともに減少することから、これについても予測する必要がある。例えば、2007年10月1日に ^{131}I を370 MBq受け入れ、同日及び同年10月9日にそれぞれ74 MBqを使用する。同年10月25日の時点で残る ^{131}I の数量は(B)MBqとなる。なお、 ^{131}I の半減期は8.02日である。

<IVの解答群>

- | | | | | | |
|-----|---------|--------|--------|--------|--------|
| (A) | 1 0.001 | 2 0.01 | 3 0.04 | 4 0.16 | 5 0.40 |
| (B) | 1 9 | 2 18 | 3 37 | 4 74 | 5 148 |

問5 次のⅠ～Ⅲの文章の()の部分に入る最も適切な語句又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 放射性物質が体内に侵入する経路には経口摂取、吸入摂取、経皮侵入の3つの経路がある。経口摂取された放射性物質の消化管吸収率は、ヨウ素のように高いものと(A)のように低いものがあり、吸収率は放射性物質の種類により異なる。血液中に入った放射性物質は、その化学的性質に従って特有の分布をする。トリチウムや(B)は全身にほぼ均等に沈着し、カルシウムや(C)は骨に、(D)は甲状腺に沈着する。組織に沈着した放射性物質の多くは、主に(E)により体外に排出される。排出速度は生物学的半減期により表され、被ばく線量率は物理的半減期と生物学的半減期から計算される実効半減期に従って減少する。実効半減期は、式(F)により計算される。

吸入により放射性物質を取り込んだ場合にも、体内移行率の高い放射性物質であれば経口摂取とほぼ同様な挙動を取るが、(A)のように体液に溶解しにくいものでは(G)やそのリンパ節に長期間滞留する。

<ⅠのA～Gの解答群>

- | | | | |
|---|---|--------|-----------|
| 1 ヨウ素 | 2 酸化プルトニウム | 3 セシウム | 4 ストロンチウム |
| 5 汗 | 6 肺 | 7 呼気 | 8 尿、糞 |
| 9 肝臓 | 10 毛髪 | 11 腎臓 | 12 脳脊髄液 |
| 13 $\sqrt{\text{生物学的半減期} \times \text{物理的半減期}}$ | 14 $\frac{\text{生物学的半減期} + \text{物理的半減期}}{\text{生物学的半減期} \times \text{物理的半減期}}$ | | |
| 15 $\frac{\text{生物学的半減期} \times \text{物理的半減期}}{\text{生物学的半減期} + \text{物理的半減期}}$ | | | |

Ⅱ 放射性物質の摂取による体内被ばく線量を評価するための主な方法としては、生体試料を用いる(A)と全身に沈着した放射性物質から放出される(B)線を体外から(C)を用いて検出する方法とがある。この他に、特定の器官に着目して、その器官に沈着している放射能の測定を目的とした(D)などがある。

(A)の試料としては主に(E)が用いられるが、必要に応じて(F)なども用いられる。事故時のように吸入摂取が疑われる場合には、(G)スミア試料を採取することが重要である。放射性物質の体内量は、測定された試料中の放射能を、摂取した核種の人体における代謝モデルに当てはめることにより求められる。体内量は国際放射線防護委員会(ICRP)による排泄率関数などで計算される。

精密型(C)は、(H)による計数を少なくするための(I)と検出器及び放射線計測部(データ解析部)からなっている。検出器としては一般に(J)が用いられてきたが、近年ではエネルギー分解能が優れたGe検出器が用いられるようになっている。

< II の A～D の解答群 >

- | | | | |
|--------------------|---------------------|------------|-------------|
| 1 全身核磁気共鳴スペクトロスコピー | 2 全身カウンタ | | |
| 3 全身核磁気共鳴イメージング法 | 4 甲状腺核磁気共鳴スペクトロスコピー | | |
| 5 甲状腺核磁気共鳴イメージング法 | 6 甲状腺モニタ | 7 ラジオアッセイ | |
| 8 バイオモニタ | 9 バイオアッセイ | 10 イムノアッセイ | 11 α |
| 12 β | 13 γ | | |

< II の E～G の解答群 >

- | | | | |
|-----|------|-------|--------|
| 1 鼻 | 2 皮膚 | 3 尿、糞 | 4 歯 |
| 5 眼 | 6 肺 | 7 血液 | 8 脳脊髄液 |

< II の H～J の解答群 >

- | | | |
|------------------|-------------------------|---------------|
| 1 ラドン・トロン | 2 混入汚染 | 3 バックグラウンド放射線 |
| 4 クリーンルーム | 5 洗浄室 | 6 遮へい室 |
| 7 液体シンチレーションカウンタ | 8 ICP 質量分析計 | |
| 9 ガスフローカウンタ | 10 NaI(Tl) シンチレーションカウンタ | |

III 体内汚染がわかった場合には放射性物質の体外除去が行われる。胃腸管からの吸収低減のためには、胃腸管の洗浄、下剤の投与、プルシアンブルーなどの（ A ）の投与等が行われる。体内に吸収された放射性物質を除去するための処置としては、① ヨウ化カリウムなどの（ B ）を含む化合物の投与、② DTPA などの（ C ）の投与、③ 利尿剤の投与などが考えられる。どの方法を選択するかは、放射性物質の性質による。

< III の A～C の解答群 >

- | | | | |
|----------|----------|-------|---------|
| 1 代謝拮抗剤 | 2 キレート剤 | 3 制酸剤 | 4 嘔吐薬 |
| 5 アルキル化剤 | 6 イオン交換剤 | 7 重金属 | 8 安定同位体 |
| 9 放射性同位体 | | | |

問6 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。

I 低線量放射線の(A)を評価するための線量として実効線量が定義されている。実効線量は、(B)と組織の感受性を勘案して評価されるが、直接測定することができないため、測定できる実用的な「測定量」と次のように関連付けられている。

外部被ばくに関連する測定量には、70 μm 線量当量、3 mm 線量当量及び1 cm 線量当量がある。放射線防護上重要な細胞が表面からどれほどの深さに存在するかに応じて適用される。

(C)線量当量は眼の水晶体の等価線量に対応し、(D)線量当量は皮膚の等価線量に対応する。

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(E)線量当量の値を実効線量とする。

不均等被ばくの場合には、次式にしたがって算出する。

$$\text{実効線量 } H = 0.08H_a + 0.44H_b + 0.45H_c + 0.03H_m$$

ただし、

H_a ：頭部及び頸部^{けいぶ}における(E)線量当量

H_b ：胸部及び上腕部における(E)線量当量

H_c ：腹部及び大腿部における(E)線量当量

H_m ：上の各部分のうち線量当量が最大となる恐れのある部分における(E)線量当量である。

例えば、頭頸部のみに5.0 mSvの被ばくがあったとすると、実効線量は(F) mSvと算定される。

< Iの解答群 >

- | | | | | |
|-------|---------|--------|---------|---------|
| (A) | 1 晩発性影響 | 2 急性影響 | 3 確定的影響 | 4 確率的影響 |
| (B) | 1 線質効果 | 2 酸素効果 | 3 防護効果 | 4 線量率効果 |
| (C～E) | 1 70 μm | 2 3 mm | 3 1 cm | |
| (F) | 1 0.15 | 2 0.40 | 3 0.55 | 4 2.20 |
| | 5 2.25 | 6 5.0 | | |

II 体内に取り込まれた放射性物質は、減衰し排泄されつつ長期間にわたって周囲の組織に線量を与え続ける。摂取時から 50 年間(成人の場合)にわたって積分した線量に、放射線の線質を考慮した (A) を乗じて得られる線量を (B) と呼ぶ。これに、組織・臓器ごとに定められている (C) を乗じた上で足し合わせて (D) が定義される。内部被ばくに伴う実効線量とはこれを指す。

(C) を表 1 に示す。

表 1

組織・臓器	(C)
生殖腺	0.20
赤色骨髄・結腸・肺・胃	0.12
膀胱・乳房・肝臓・食道・甲状腺	0.05
皮膚・骨表面	0.01
残りの組織・臓器	0.05
合計	1.00

^{125}I を吸入した場合、その大部分は甲状腺に分布する。 ^{125}I が放出する γ 線や X 線の (A) は (E) なので、甲状腺の (B) が 10 mSv のときの実効線量は (F) mSv となる。また、空気中のラドン及びその娘核種の吸入による被ばくが最も大きな組織は (G) である。ラドン及びその娘核種の壊変に伴って放出される (H) の (A) は (I) なので、吸入されたラドン及びその娘核種による実効線量が 1.2 mSv と算定されたときの (G) の等価線量は (J) mSv、吸収線量は (K) mGy である。

< II の解答群 >

- | | | | | | |
|-------|--------------|-------------|--------------|-------|------|
| (A~D) | 1 組織荷重係数 | 2 放射線荷重係数 | 3 実効線量係数 | | |
| | 4 線量・線量率効果係数 | 5 照射線量 | 6 吸収線量 | | |
| | 7 等価線量 | 8 預託等価線量 | 9 預託実効線量 | | |
| (E) | 1 1 | 2 2 | 3 5 | 4 10 | 5 20 |
| (F) | 1 0.5 | 2 1.0 | 3 2.5 | 4 5.0 | 5 10 |
| (G) | 1 脳 | 2 唾液腺 | 3 甲状腺 | 4 腎臓 | 5 肝臓 |
| | 6 骨 | 7 肺 | | | |
| (H) | 1 α 線 | 2 β 線 | 3 γ 線 | 4 中性子 | |
| (I) | 1 1 | 2 2 | 3 5 | 4 10 | 5 20 |
| (J~K) | 1 0.5 | 2 1.0 | 3 2.5 | 4 5.0 | 5 10 |

Ⅲ 核種と化学形ごとに摂取された単位放射能当たりの実効線量が計算されている。この換算係数を (A) と呼ぶ。 ^3H に関する (A) を表 2 に示す。

表 2

核種	化学形等	吸入摂取した場合の (A) [mSv/Bq]
^3H	元素状水素	1.8×10^{-12}
^3H	メタン	1.8×10^{-10}
^3H	水	1.8×10^{-8}
^3H	有機物(メタンを除く)	4.1×10^{-8}
^3H	上記を除く化合物	2.8×10^{-8}

これを用いれば、トリチウム水蒸気 4.9×10^6 Bq を吸入摂取した場合の実効線量は (B) mSv と評価できる。

<Ⅲの解答群>

(A) 1 線量・線量率効果係数 2 放射線荷重係数 3 実効線量係数
4 組織荷重係数

(B) 1 8.8×10^{-6} 2 8.8×10^{-4} 3 8.8×10^{-2} 4 1.4×10^{-1} 5 2.0×10^{-1}