

管 理 技 術 I

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：5題（7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、プラスチック消しゴム、時計に限ります。電卓機能・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）の使用はできません。
- ③ 試験中に携帯電話等の通信機器は使用できません。（電源を切ってください。）
- 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プラスチック消しゴムできれいに消してください。また、消しき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受験番号・氏名・試験地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マークしてください。
- ④ 試験は択一方式で、解答は1つの問につき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～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 われわれは自然に存在する放射性核種によって、外部被ばくだけではなく、常に内部被ばくを受けている。地殻に存在する(A)、 ^{87}Rb 、ウラン系列核種、トリウム系列核種などによる被ばくが主であるが、宇宙放射線で2次的に生成される(B)、 ^{14}C 及び ^{22}Na などによるわずかな寄与もある。ヒトが浴びている自然放射線量は世界平均値で年間およそ2.4 mSvといわれ、このうち半分以上が内部被ばくと考えられている。内部被ばくの原因としては、(A)の摂取や空気中に存在する(C)の娘核種の吸入などがあげられる。

< IのA～Cの解答群 >

- | | | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 1 ^3H | 2 ^{32}P | 3 ^{40}K | 4 ^{55}Fe | 5 ^{57}Co | 6 ^{63}Ni |
| 7 ^{85}Kr | 8 ^{90}Sr | 9 ^{109}Cd | 10 ^{131}I | 11 ^{137}Cs | 12 ^{198}Au |
| 13 ^{210}Pb | 14 ^{222}Rn | 15 ^{241}Am | | | |

II 密封線源を使用する場合においても、体外にある線源から放射線を被ばくする外部被ばくと線源破損により体内に取り込まれた放射性核種による内部被ばくの恐れがある。放射性核種の体内への摂取経路としては、大別して経口摂取、吸入及び(イ)の3つが挙げられる。これらの摂取経路は上述の自然放射線の場合と概ね共通しているが、(イ)では(ロ)に傷がある場合は侵入の可能性が高くなる。体内に取り込まれた放射性核種は、その物理的性状や化学的性状によって(ハ)する(ニ)が異なり、この(ハ)されやすさを(ニ)親和性とよんでいる。

例えば、骨親和性核種としては、(A)、(B)などが挙げられる。(A)は、半減期も28.7年と長く、内部被ばくの場合に、(ホ)の照射により骨や骨髄に対して長期間にわたって選択的に影響を及ぼす可能性がある。

< IIのA～Bの解答群 >

- | | | | | | | |
|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 1 ^3H | 2 ^{55}Fe | 3 ^{60}Co | 4 ^{63}Ni | 5 ^{90}Sr | 6 ^{109}Cd | 7 ^{125}I |
| 8 ^{131}I | 9 ^{137}Cs | 10 ^{226}Ra | | | | |

< IIのイ～ホの解答群 >

- | | | | | |
|--------------|-------------|--------------|--------------|-----------|
| 1 α 線 | 2 β 線 | 3 γ 線 | 4 δ 線 | 5 電子線 |
| 6 甲状腺 | 7 皮膚 | 8 胃腸 | 9 経皮吸収 | 10 ウイルス感染 |
| 11 濃縮 | 12 堆積 | 13 集積 | 14 臓器 | 15 局所 |

III 甲状腺の診断や治療などによく用いられる(A)は、放出する β 線による治療効果の他に、 γ 線による体内分布の測定も可能である。体内に取り込まれた放射性物質の体内量の減少は放射性壊変による物理的減衰と排泄などによる生物学的減少に分けられ、前者の半減期を物理的半減期、後者の半減期を生物学的半減期とよぶ。実際には、これら両方の半減期を考慮に入れた(イ)半減期で表される。例えば、(A)の甲状腺に蓄積している放射能が29日間で1/16に減じた

すると、(イ)半減期は(a)日と考えられ、この核種の物理的半減期を8.0日とすると、生物学的半減期はおよそ(b)日と考えられる。

<ⅢのAの解答群>

1 ^3H 2 ^{55}Fe 3 ^{60}Co 4 ^{63}Ni 5 ^{90}Sr 6 ^{109}Cd 7 ^{125}I
8 ^{131}I 9 ^{137}Cs 10 ^{226}Ra

<Ⅲのイの解答群>

1 適応 2 最適 3 体内 4 有効 5 想定

<Ⅲのa～bの解答群>

1 1.2 2 2.4 3 3.8 4 5.0 5 6.3 6 7.3 7 20 8 40
9 60 10 80

問2 次のⅠ～Ⅳの文章の()の部分に入る最も適切な語句又は記号を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 日本工業規格Z4821-1では、密封線源の(A)試験が定められている。その試験項目として、(B)、(C)、(D)、(E)、(F)試験が挙げられており、それぞれについて各(A)を満足するための条件が決められている。また、密封線源の用途別に推奨する試験項目別(A)も示されている。

<Ⅰの解答群>

(A) 1 性能 2 等級 3 強度
(B) 1 温度 2 加熱 3 冷却
(C) 1 圧力 2 応力 3 圧縮
(D) 1 落下 2 衝撃 3 変形
(E) 1 振動 2 腐食 3 耐水
(F) 1 磨耗 2 耐薬品 3 パンク

Ⅱ 非破壊検査に用いる主な核種は、(A)、(B)である。(A)の半減期は、ほぼ(C)であり、(B)の半減期のほぼ(D)より短い。また、(A)は(B)よりも、放出する主要な γ 線のエネルギーが(E)、単位放射能当たり放出する γ 線の個数が(F)。

<ⅡのA～Fの解答群>

1 ^{60}Co 2 ^{85}Kr 3 ^{192}Ir 4 ^{241}Am 5 50日 6 70日
7 90日 8 3年 9 5年 10 7年 11 低く 12 高く
13 少ない 14 多い

Ⅲ 非破壊検査に使用する線源は、画像の識別度を良くする為に（ A ）が高いものが選ばれており、ペレット状の線源を（ B ）のカプセルに溶接封入して、密封性を確保している。この密封線源は、線源ホルダーとともに線源容器に格納されている。線源容器は、 γ 線の遮へい能力の高い（ C ）でつくられているが、小型化するために、より比重の高い（ D ）を使用しているものもある。

<ⅢのA～Dの解答群>

- | | | | |
|-----------|-------------|-------------|----------|
| 1 放射化学的純度 | 2 化学純度 | 3 比放射能 | 4 ステンレス鋼 |
| 5 アルミニウム | 6 鉄 | 7 鉛 | 8 チタン合金 |
| 9 スズ合金 | 10 アルミニウム合金 | 11 タングステン合金 | |

Ⅳ 非破壊検査装置は、定期点検も重要であるが（ A ）点検も欠かせない。（ A ）点検では、装置の使用前及び使用後に線源が線源容器内に確実に格納されているか、シャッターが完全に閉じているか等を、サーベイメータを用いて確認する必要がある。一般的に、サーベイメータは γ 線の（ B ）が測定可能なもの、例えば（ C ）を使用する。また、使用するサーベイメータは定期的に（ D ）して、その指示値と基準量との関係を明確にしておく必要がある。

<ⅣのA～Dの解答群>

- | | | | | | |
|-----------|---------------|---------------------------|------|--------|--------|
| 1 日常 | 2 分解 | 3 校正 | 4 修理 | 5 吸収線量 | 6 表面密度 |
| 7 線量率 | 8 電離箱式サーベイメータ | 9 ZnS(Ag)シンチレーション式サーベイメータ | | | |
| 10 レムカウンタ | | | | | |

問3 次の皮膚汚染の事例に関する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 ^{90}Sr 密封線源を装備した（ A ）装置の保守点検のあと、（ B ）式サーベイメータにより、身体表面の汚染検査を行ったところ、手のひらから 60000cpm の汚染が発見された。直ちに（ C ）を用いて除染し、汚染部の計数率がバックグラウンドの値まで下がったことを確認した。汚染核種は ^{90}Sr と（ D ）であり、（ E ）線による皮膚の被ばくが問題となるので、Ⅱ、Ⅲに述べるように線量評価を行った。

<ⅠのA～Eの解答群>

- | | | | |
|-------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 1 たばこ量目制御 | 2 ガスクロマトグラフ | 3 骨成分分析 | 4 電離箱 |
| 5 GM管 | 6 NaI(Tl)シンチレーション | | 7 エタノール |
| 8 アルカリ石鹼 | 9 中性洗剤 | 10 ^{90}Y | 11 ^{90}Zr |
| 12 α | 13 β | 14 γ | 15 制動放射 |

II 第一段階として、この汚染の表面密度 A_s [$\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$] を次の式により評価した。

$$A_s = \frac{(N - N_b)}{60 \cdot f_i \cdot W \cdot f_s} \quad (1)$$

(1)式において、 N は汚染の計数率 [cpm]、 N_b はバックグラウンド計数率 [cpm]、 f_i は測定器の機器効率、 W は測定器の窓面積 [cm^2]、 f_s は1壊変当たりの対象放射線の表面放出率である。まず、このサーベイメータの分解時間 $200 \mu\text{s}$ を用いて数え落としの補正を行い、真の計数率 (A) cpm を得た。次に、このサーベイメータに添付された型式試験データのグラフから、それぞれの核種に対する機器効率の値を読み取り、(B) に対し 0.44、(C) に対し 0.52 を得た。なお、機器効率は 2π ジオメトリに対する評価値である。 f_s の値は汚染表面の状態に依存するが、両核種に対し、ともに (D) とした。サーベイメータの窓面積 20cm^2 を用い、バックグラウンド計数率を無視して両核種の表面密度を計算した結果、ともに (E) $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ と評価された。

< II の A ~ E の解答群 >

1	0.5	2	1.0	3	2.0	4	41	5	61	6	65	7	83
8	120	9	130	10	48000	11	72000	12	75000				
13	^{90}Sr			14	^{90}Y	15	^{90}Zr						

III この結果を用い、第二段階として皮膚の線量を次の式により評価した。

$$g(d) = A_s \times R(d) \times \frac{(1 - e^{-\lambda T})}{\lambda} \quad (2)$$

(2)式において、 $g(d)$ は深さ d [mm] における吸収線量 [μGy]、 A_s は表面密度 [$\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$]、 $R(d)$ は ICRU (国際放射線単位測定委員会) により与えられている換算係数で、単位表面密度当たりの組織深さ d における吸収線量率 [$\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{cm}^2$]、 λ は壊変定数 [h^{-1}]、 T は被ばく時間 [h] である。汚染放射能の壊変による減衰が無視できる場合、(2)式右辺の $\frac{(1 - e^{-\lambda T})}{\lambda}$ の項は、(A) で近似できる。放射線防護上、皮膚の線量は深さ (B) mm の値が評価される。この深さに対し ICRU が与えている換算係数 $R(d)$ は、有効数字 2 桁に丸めた場合、それぞれの核種に対し 1.5、及び $1.8 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{cm}^2$ である。被ばく時間を 45 分と仮定して計算した結果、皮膚の吸収線量は、両核種の寄与を合わせ (C) mGy と評価された。この被ばくにより、皮膚には急性障害として (D) と判断できる。

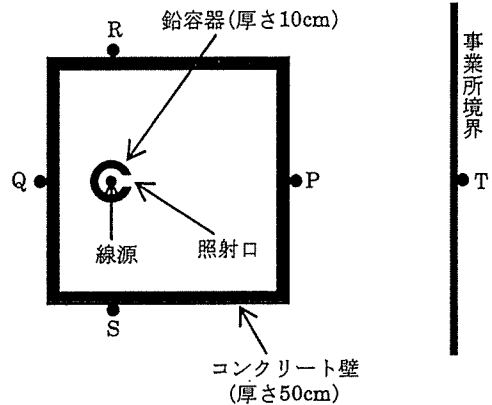
< III の A ~ D の解答群 >

1	λT	2	T	3	$1/T$	4	0.03	5	0.07	6	0.10
7	0.15	8	0.16	9	0.30	10	0.32	11	0.70	12	1.0
13	何も生じない	14	潰瘍が生じる	15	紅斑が生じる						

問4 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。

右の平面図に示すようなコンクリート壁（厚さ50cm）で囲まれた γ 線照射施設において ^{60}Co （3.7GBq×1個）密封線源のみを使用している事業所がある。

線源を使用する時（線源使用時）は、遠隔操作により照射口が開き、固定された線源から点P方向に水平に γ 線が放出される。線源を使用していない時（線源貯蔵時）は、球形鉛容器（厚さ10cm）に収納されている。なお、鉛容器は全方向に対して鉛厚10cmの遮へい能力があるものとする。



γ 線照射施設の管理区域については、コンクリート外壁面とし、線源からの影響が大きいと考えられる図中の点P、Q、R、Sに対する線源からの距離はそれぞれ3m、1m、2m、2mである。また、事業所境界は、点Pの延長線上の点Tが最も近い場所で、線源から6mの距離となる。

なお、それぞれの評価において散乱線及びスカイシャインの影響は考えないものとし、鉛容器の照射口は十分にコリメートされているものとする。

Ⅰ この施設の管理区域境界（点P、Q、R、S）における3月間の実効線量を評価する。なお、線源の使用時間は3月間で300時間までとし、 ^{60}Co の実効線量率定数及びコンクリートと鉛に対する実効線量透過率は以下のとおりとする。

^{60}Co の実効線量率定数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	0.31
^{60}Co からの γ 線に対する実効線量透過率	コンクリート(厚さ50cm) : 2.4×10^{-2} 鉛(厚さ10cm) : 4.8×10^{-3}

(1) 点Pにおける評価

- ・線源使用時の1時間当たりの実効線量は、(A) μSv となる。
- ・線源貯蔵時の1時間当たりの実効線量は、(B) μSv となる。

ここで、P点における実効線量が最大となる場合の3月間における評価時間は、線源使用時が(C)時間、線源貯蔵時が(D)時間となる。なお、管理区域境界の総評価時間を500時間とする。これらを踏まえ、点Pにおける3月間の最大となる実効線量を評価すると、(E) μSv となる。

(2) 点Q、R、Sにおける評価

点Q、R、Sは、線源使用時と貯蔵時いずれも鉛容器による遮へい効果が同じであるため、貯蔵時間を500時間(管理区域境界の評価時間)として評価すると、それぞれ、3月間の実効線量は、点Qは(F) μSv 、点R及び点Sは17 μSv となる。

これらの結果より、管理区域境界の3月間における実効線量は点Pが最も高く、この値は、法

令で定める線量限度 (G) mSv を (H)。

< I の A ~ H の解答群 >

- 1 1.5×10^{-2} 2 1.3×10^{-1} 3 1.0 4 1.3 5 3.1 6 17 7 28
 8 66 9 200 10 250 11 300 12 500 13 930
 14 超える 15 超えない

II 次に、事業所境界 (点 T) の 3 月間における実効線量を評価する。

3 月間における実効線量が最大となる線源使用時の評価時間は (A) 時間、線源貯蔵時の評価時間は (B) 時間となる。なお、事業所境界の 3 月間における総評価時間は 2184 時間とする。

これらを踏まえ、点 T における 3 月間の最大となる実効線量を評価すると、(C) μSv となる。これは、法令で定める線量限度 (D) μSv を (E)。

< II の A ~ E の解答群 >

- 1 200 2 220 3 235 4 250 5 300 6 400 7 500
 8 800 9 1000 10 1300 11 1680 12 1884 13 2184
 14 超える 15 超えない

III 現在、この事業所で使用している線源 ^{60}Co (3.7GBq \times 1 個) を ^{137}Cs (111GBq \times 1 個) に変更することを検討している。現状の施設で線源のみを変更することを考えると、線源の使用時間を見直す必要があるため、点 P 及び点 T における評価を以下のとおり実施した。なお、 ^{137}Cs の実効線量率定数及びコンクリートと鉛に対する実効線量透過率は以下のとおりとする。

^{137}Cs の実効線量率定数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	0.078
^{137}Cs からの γ 線に対する実効線量透過率	コンクリート (厚さ 50cm) : 6.9×10^{-3} 鉛 (厚さ 10cm) : 1.9×10^{-5}

(1) 点 P における評価

- ・線源使用時の 1 時間当たりの実効線量は、(A) μSv となる。
- ・線源貯蔵時の 1 時間当たりの実効線量は、(B) μSv となる。

(2) 点 T における評価

- ・線源使用時の 1 時間当たりの実効線量は、(C) μSv となる。
- ・線源貯蔵時の 1 時間当たりの実効線量は、(D) μSv となる。

よって、法令で定める管理区域及び事業所境界の線量限度を考慮すると、3 月間における線源の最大使用時間は (E) 時間となる。

< III の A ~ E の解答群 >

- 1 3.1×10^{-5} 2 1.2×10^{-4} 3 4.0×10^{-4} 4 1.0×10^{-3} 5 1.5×10^{-3}
 6 1.6 7 6.6 8 20 9 100 10 150
 11 190 12 250 13 300 14 600 15 950

問5 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 密封線源としてよく用いられる核種について、下表を完成せよ。

核種	^{63}Ni	^{85}Kr	^{137}Cs	^{147}Pm	^{241}Am
半減期	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)

<ⅠのA～Eの解答群>

- 1 59.4日 2 138日 3 2.07年 4 2.62年 5 10.8年 6 12.3年
7 30.0年 8 100年 9 432年 10 5730年

Ⅱ ^{241}Am は壊変して、原子番号(A)、質量数(B)のネプツニウムになる。なお、Amの原子番号は95である。壊変の際に、主として、5.5MeVの(C)線と、(D)MeVの(E)線を放出する。 ^{241}Am は、(C)線源や(E)線源として用いられるほか、質量数226の(イ)と同様に、原子番号の小さい金属である(ロ)と組み合わせて(F)線源にも使用される。この(F)線源は、(ロ)の(G)反応を利用したものである。また、代表的な(F)線源としては、自発核分裂により(F)線を放出する質量数252の(ハ)がある。

<ⅡのA～Bの解答群>

- 1 93 2 94 3 95 4 96 5 97 6 237 7 239 8 240
9 241 10 242

<ⅡのC～Gの解答群>

- 1 α 2 β 3 γ 4 X 5 中性子 6 0.060 7 0.511
8 0.662 9 1.173 10 (γ, n) 11 (α, n) 12 (n, α) 13 (n, γ)

<Ⅱのイ～ハの解答群>

- 1 水素 2 ヘリウム 3 リチウム 4 ベリリウム 5 ホウ素
6 ポロニウム 7 ラジウム 8 ウラン 9 キュリウム 10 カリホルニウム

Ⅲ 3.7GBqの ^{137}Cs 密封点線源がある。この線源から2m離れた位置での1cm線量当量率は(A) $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ である。この線源から1m離れた位置に熱蛍光線量計(TLD)を置いて10時間照射し、このTLDを線量読み取り装置で測定したところ、測定値は3.51mSvであった。このTLDの校正定数は、(B)である。ただし、 ^{137}Cs の1cm線量当量率定数を $0.0927\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ とする。

<ⅢのA～Bの解答群>

- 1 0.0858 2 0.172 3 8.58 4 17.2 5 85.8 6 172 7 0.410
8 0.927 9 0.977 10 1.02 11 1.08 12 2.44