

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）、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）及び計算尺の使用はできません。
- ③ 試験中に携帯電話等の通信機器並びに通信機能のある時計等は使用できません。（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、HB又はBの鉛筆を使用し、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 ^{60}Co は、半減期が(A)であり、0.318MeVの β^- 線及び(B)と1.33MeVの2本の γ 線を放出して、原子番号(C)、質量数(D)の(E)となる。

< Iの解答群 >

- 1 272日 2 5.27年 3 30年 4 0.317MeV 5 1.17MeV 6 1.25MeV
7 27 8 28 9 29 10 59 11 60 12 61 13 Fe
14 Co 15 Ni

II 30MBqの ^{60}Co 点線源がある。この線源から1m離れた点の実効線量率は、およそ(A) $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ である。この線源を2cm厚の鉛容器の中心に入れた場合、線源から1mの所での実効線量率は、およそ(B) $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ である。

ただし、 ^{60}Co の実効線量率定数を $0.31\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ とし、鉛の半価層を1cmとする。また、散乱 γ 線の影響は考えないものとする。

< IIの解答群 >

- 1 0.23 2 0.46 3 0.57 4 0.93 5 1.2 6 2.3 7 4.6
8 5.7 9 9.3 10 12

III 上記の線源を運搬するため、鉛容器から取り出し、各辺が30cmの立方体の箱の中心に入れた。箱の表面における1cm線量当量率の最高値は、およそ(A) $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ であった。L型輸送物として運搬するためには、箱の表面における1cm線量当量率を $5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ まで下げる必要がある。このため、線源を別の鉛容器に移し、立方体の箱に線源が中心になるように入れるとすると、容器の鉛厚さとして、最小限(B) cm必要である。

ただし、 ^{60}Co の1cm線量当量率定数を $0.35\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ とし、鉛の半価層を1cmとする。また、散乱 γ 線の影響は考えないものとする。

< IIIの解答群 >

- 1 3 2 4 3 5 4 6 5 7 6 8 7 120
8 240 9 470 10 710

問2 放射性同位元素利用機器に関する次の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 レベル計・密度計には(A)線を放出する核種が利用されている。(A)線は、物質に入射すると、光電効果、コンプトン効果、電子対生成などを引き起こす。光電効果とは、(A)線が原子の軌道電子と相互作用をして、軌道電子の(B)を差し引いたエネルギーをもつ(C)を発生させ、自身は消滅する現象のことである。光電効果の起こる確率は、線減弱(減衰)係数を用

いて表すことができる。ここで、(A) と相互作用する物質の (D) を Z とすると、光電効果の線減弱(減衰)係数は約 (E) に比例する。コンプトン効果や電子対生成による相互作用も同様に線減弱(減衰)係数を用いて表すことができ、全ての線減弱(減衰)係数を合計したものを全線減弱(減衰)係数とよぶ。

実際のレベル計に多く利用されている核種としては、(F)、 ^{60}Co などがある。また、密度計には、レベル計と同種の原理・方法が用いられている透過型もあるが、相互作用の1つである(G)に着目し、密度の測定を可能にした散乱型も利用されている。

< I の解答群 >

- 1 β^- 2 γ 3 励起エネルギー 4 電離エネルギー 5 自由電子
 6 光電子 7 質量数 8 原子番号 9 Z^3 10 Z^5
 11 ^{137}Cs 12 ^{152}Eu 13 ^{192}Ir 14 光電効果 15 コンプトン効果

II 紙の製造過程で使用される透過型厚さ計には、坪量 [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$] を測定するために都合のよい (A) 線を放出する核種が利用されている。よく用いられている核種は、 ^{147}Pm 、(B) である。

(A) 線は、物質に入射すると、その運動エネルギーの一部を原子の電離・励起に消費し、また原子核のクーロン場により減速され、電磁放射線を放出することに消費する。単位長さ当たり失う平均運動エネルギーを、前者は (C) 阻止能といい、後者は (D) 阻止能という。

(A) 線は (E) スペクトルではあるが、物質中での吸収は、限定された範囲で近似的に (F) 線と同様な指数関数的減衰(吸収)の関係があることが知られている。吸収の割合は、吸収係数とよばれ、(A) 線の (G) エネルギーの関数である。

ここで、(H) を単位とする吸収係数 μ と、(A) 線の (G) エネルギー $E[\text{MeV}]$ との関係を表す式として、 $\mu = (I) E^{-1.43}$ が用いられる。

< II の解答群 >

- 1 β^- 2 γ 3 ^{85}Kr 4 ^{241}Am 5 線放射 6 線衝突 7 線
 8 連続 9 平均 10 最大 11 $\text{cm}^2\cdot\text{mg}^{-1}$ 12 cm^{-1} 13 0.0017
 14 0.017 15 0.17

III 水分計に利用される密封線源は、中性子線を放出する (A) が用いられている。(A) から放出される速中性子は、主に原子核と (B) を繰り返して、減速して (C) eV 程度のエネルギーを持つ熱中性子となる。散乱型水分計では、 BF_3 計数管あるいは、(D) を用いて熱中性子を測定することにより水素含量、水分量が求められる。

< III の解答群 >

- 1 ^{226}Ra 2 ^{241}Am 3 ^{252}Cf 4 弾性散乱 5 非弾性散乱 6 0.0025
 7 0.025 8 0.25 9 ^3He 計数管 10 BGO 検出器

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。ただし、各選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

ある事業所で製品の厚さを測定するために、密封された放射性同位元素(^{137}Cs 37GBq×1個)の γ 線透過を利用した厚さ計を1台使用している。管理区域は線源を中心として正方形(5m×5m)の範囲とし、特に追加の遮へいは設けていない。線源は、耐火性の容器に収納されており、シャッターが開くことにより下方から上方に照射される構造となっている。

Ⅰ 当該事業所では密封された放射性同位元素を取扱っているため、放射線業務従事者における被ばく管理は、通常においては(A)被ばくのみが問題となる。特に管理区域内での作業を管理する際は、以下の点に心がけ放射線業務従事者の被ばく低減に努める必要がある。

- ① 作業者と線源間の距離を可能な限り大きくする。これは、線源から放出される γ 線による実効線量が線源からの距離の(B)乗に反比例するためである。
- ② 作業性を考慮した上で可能であれば線源と作業者間に遮へい物を置く。一般的に γ 線と物質との相互作用を考慮すると、密度 $[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$ の(C)物質で遮へいすることが効果的である。例えば、同じ厚さの鉄、コンクリート、鉛の遮へい体を比較すると、遮へい効果は(D)が最も小さく、(E)が最も大きい。
- ③ 事前の作業確認やモックアップ訓練等により作業時間を短縮する。

<Ⅰの解答群>

- 1 宇宙線 2 内部 3 外部 4 1/2 5 2 6 3 7 小さい
8 大きい 9 鉄 10 コンクリート 11 鉛

Ⅱ 当該事業所では個人被ばく管理に熱ルミネセンス線量計(TLD)、作業管理や場所に係る線量率測定にGM管式サーベイメータを使用している。

TLDは、ある物質が放射線により照射された後、(A)されると光を放射する現象を利用した線量計である。放射線との相互作用によって(B)された電子の一部は、準安定状態に留まるが、(A)により活性化エネルギーを外部から加えるとそれが解放され、(C)状態に戻る過程で光を発する。この光を(D)で測定し、電流やパルスカウント数として計数することにより線量を評価することができる。特徴としては、小型軽量で取扱いが容易、繰り返し使用可能、作業環境が高温の場合には(E)現象による影響が大きいなどである。

GM管式サーベイメータは、 γ 線によりGM計数管に発生する(F)を測定することにより放射線を計測している。特徴としては、取扱いが簡便であるが、分解時間が(G)と長いため線量率が高くなると数え落としが発生し、更に線量率が高くなると(H)現象を起こすなどである。

<Ⅱの解答群>

- 1 基底 2 フェーディング 3 窒息 4 電氣的パルス 5 紫外線照射
6 数十 μs 7 数百 μs 8 数ms 9 電離 10 励起 11 加熱
12 電位計 13 光電子増倍管 14 発光量 15 ラジオフォトルミネセンス

Ⅲ 管理区域に係る実効線量と施設内の人が常時立ち入る場所における実効線量についてそれぞれ以下の条件で評価する。なお、厚さ計のシャッターが開いた状態を使用時、シャッターが閉じた状態を貯蔵時とし、それぞれの最大漏えい実効線量率は線源から 1m の距離で $6.0 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 、 $3.5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ である。また、厚さ計は上方に対して十分な遮へいが考慮されており、漏えい実効線量率も十分小さいので、スカイシャインによる線量は無視できるものとする。

管理区域に係る実効線量については、管理区域境界における線源からの最短距離を 2.5m、評価時間を 500 時間/3 月、線源の使用状況については使用時とし、最大漏えい実効線量率を考慮し安全側に評価する。評価結果は、(A) / 3 月であり法令に定める管理区域に係る実効線量の (B) / 3 月を (C)。

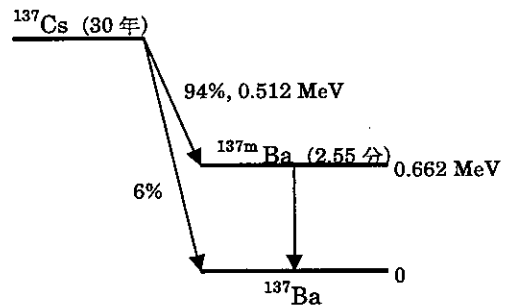
常時立ち入る場所における実効線量については、使用時には管理区域内への立ち入りを禁止しているため、貯蔵時に実施する装置の点検等を想定し評価する。点検等の作業時間は 2 時間/週で、線源からの距離は 0.5m とすると、評価結果は (D) / 週である。点検等の作業以外の時間を線源使用時の管理区域境界に滞在したとし、その滞在時間を 38 時間/週とし評価に加味するとおおよそ (E) / 週となり、法令に定める線量限度の (F) / 週を (G)。

<Ⅲの解答群>

- | | | | | | | | | | |
|----|--------------------|----|--------------------|----|--------------------|---|-------------------|----|--------------------|
| 1 | $14 \mu\text{Sv}$ | 2 | $28 \mu\text{Sv}$ | 3 | $48 \mu\text{Sv}$ | 4 | $65 \mu\text{Sv}$ | 5 | $250 \mu\text{Sv}$ |
| 6 | $280 \mu\text{Sv}$ | 7 | $300 \mu\text{Sv}$ | 8 | $480 \mu\text{Sv}$ | 9 | 1.0mSv | 10 | 1.2mSv |
| 11 | 1.3mSv | 12 | 超える | 13 | 超えない | | | | |

問4 ^{137}Cs 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、数値又は文節を、それぞれの解答群から 1 つだけ選べ。なお、 ^{137}Cs は下図に示す壊変をするものとする。

Ⅰ ^{137}Cs は、最大エネルギー 0.512 MeV の (A) 線を放出し、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ に壊変する。次に $^{137\text{m}}\text{Ba}$ は、半減期 2.55 分で、 0.662 MeV の γ 線を放出して安定核種 ^{137}Ba となる。この 2 番目の壊変形式を (B) という。一方、 ^{137}Cs の壊変のうち 6% は ^{137}Ba への直接の壊変であり、このとき、最大エネルギー (C) MeV の (A) 線が放出される。これら壊変生成核種の中性子数は、 ^{137}Cs と比べ (D)。



<Ⅰの解答群>

- | | | | | | | | | | | | |
|----|----------|----|-----------|----|-----------|----|----------|----|-------|---|---------|
| 1 | α | 2 | β^- | 3 | β^+ | 4 | γ | 5 | 制動放射 | 6 | 電気双極子放射 |
| 7 | 核磁気共鳴 | 8 | 核異性体転移 | 9 | 0.150 | 10 | 0.587 | 11 | 0.662 | | |
| 12 | 1.174 | 13 | 1個多い | 14 | 1個少ない | 15 | 変わらない | | | | |

II ^{137}mBa の壊変当たりの γ 線放出割合は90%である。残りの10%の壊変では原子核の励起エネルギーが直接 (A) に与えられる。この現象を (B) という。このとき、多くの場合、30 数 keV の (C) かあるいはこれよりも若干エネルギーの低い荷電粒子が放出され、この荷電粒子は (D) とよばれる。

< II の解答群 >

- 1 核子 2 軌道電子 3 正孔 4 蛍光中心 5 内部転換 6 共鳴吸収
 7 軌道電子捕獲 8 陽電子消滅 9 中性微子 10 オージェ電子
 11 特性X線 12 制動放射線 13 δ 線 14 熱電子 15 消滅放射線

III 100MBq の ^{137}Cs 密封点線源がある。この線源を利用して入射面積 20cm^2 の GM 管式サーベイメータの固有効率、すなわちサーベイメータに入射した γ 線のうち計数されるものの割合を求めることとした。

まず、2m の距離で測定し、正味の計数率 810cpm を得た。次に、サーベイメータに入射する γ 線の数を以下のように計算した。

この線源から放出される γ 線は毎秒 (A) 個である。空気その他による吸収と散乱とを無視した場合、線源から 2m 離れた点の γ 線フルエンス率は (B) $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ となる。従って、サーベイメータに入射する γ 線の数は毎秒 (C) 個となる。

以上より、固有効率を (D) % と求めた。なお、不感時間による数え落としの補正は必要ないものとする。

< III の解答群 >

- 1 0.33 2 0.40 3 0.80 4 1.5 5 2.6×10^3 6 3.0×10^3
 7 3.4×10^3 8 3.8×10^3 9 1.3×10^6 10 1.5×10^6 11 1.7×10^6
 12 1.9×10^6 13 8.5×10^7 14 9.4×10^7 15 1.0×10^8

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記号を、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 放射線被ばくに伴う人の健康影響について考えてみたい。被ばくによって受ける影響の程度は、たとえ(A)が同じであっても、放射線の種類やエネルギーなどによって異なる。そこで、放射線防護の観点から、(B)と(C)という基準になる量が次のように定義された。(B)は(A)と(D)の積で表され、(C)は(B)と(E)の積を足し合わせたものである。実際の放射線被ばくは、体外からの放射線によって被ばくする外部被ばくと体内に取り込まれた放射性核種から被ばくする内部被ばくに分けられる。また、短時間で1回に被ばくする(F)と持続的あるいは繰り返し被ばくする(G)という区別の仕方もある。

<Ⅰの解答群>

- | | | | | |
|----------|----------|-----------|----------|--------|
| 1 照射線量 | 2 しきい線量 | 3 吸収線量 | 4 集団線量 | 5 実効線量 |
| 6 線量当量 | 7 等価線量 | 8 放射線荷重係数 | 9 組織荷重係数 | |
| 10 LET | 11 線量率定数 | 12 局所被ばく | 13 急性被ばく | |
| 14 全身被ばく | 15 慢性被ばく | | | |

Ⅱ 次に、被ばく後に人体に障害や影響が現れるまでの過程を考えてみよう。初期過程では、物理的な放射線のエネルギー付与による生体分子や水分子の(A)とこれらに引き続いて生成される(B)が重要である。ここで、(A)の空間分布や(B)の挙動などにより細胞内の重要な標的分子の損傷の種類や分布が決まる。種々の損傷の中でも(C)の損傷が重要と考えられている。その理由は、細胞の生死を決定付ける要因となりうるからである。細胞内では、この(C)損傷に対して、細胞周期チェックポイント応答が起きたり、修復機構が働いたりして、細胞の突然変異や(D)の誘導を極力抑制しようとする。しかしながら、損傷の修復が成功しない場合や、生じた(C)の変化の種類によっては、細胞が変異を起こしたり死に至る場合もある。ここで対象となる細胞が生殖細胞の場合は(E)や遺伝的影響などが、体細胞の場合は組織障害や(F)などが発生する可能性がある。白内障や再生不良性貧血といった(G)の発生も指摘されている。

<Ⅱの解答群>

- | | | | | |
|----------------|----------|---------|---------|---------|
| 1 遷移 | 2 電離・励起 | 3 ラジカル | 4 RNA | 5 DNA |
| 6 クロマチン結合タンパク質 | 7 染色体異常 | 8 染色体凝縮 | 9 がん | |
| 10 不妊 | 11 一過性障害 | 12 急性障害 | 13 早期障害 | 14 晩発障害 |

Ⅲ 放射線防護の立場から基準になる量の定義についてⅠで述べたが、これらの量を正確に測定することが困難な場合が多いので、実際には、サーベイメータや個人被ばく線量計を用いて、被ばく線量を安全側に評価する方策が講じられている。個人被ばく線量計として、長年にわたって主に用いられてきたフィルムバッジは温度や湿度の影響を受けやすいことが指摘されている。そこで、これ

らの影響が少ない (A) や (B) が用いられるようになってきた。(A) の検出素材である (C) は放射線照射によって、一部の電子が結晶の陰イオン格子欠陥に捕捉され、準安定状態になる。この状態で、光刺激を受けると、電子は励起され伝導帯に移動し、発光中心のホールと再結合をして (D) を発する。近年のレーザー技術の進展に伴い、パルス状の強い光が得られたこともあり、高感度に (D) 量を測定することが可能になった。一方、(B) の測定原理は、放射線照射された (E) が紫外線励起によって (F) を発する現象に基づいている。なお、(B) は診断・治療線量評価や動物実験での線量評価に利用されていることも付け加えておきたい。

<Ⅲの解答群>

- | | | | | | | | |
|----|------------------------|----|----------|----|----------|----|------------|
| 1 | ポケット線量計 | 2 | 蛍光ガラス線量計 | 3 | TLD | 4 | OSL線量計 |
| 5 | アラーム線量計 | 6 | 酸化チタン | 7 | 酸化アルミニウム | 8 | 酸化鉄 |
| 9 | 紫外線 | 10 | 赤外線 | 11 | 蛍光 | 12 | 銀活性リン酸塩ガラス |
| 13 | CaSO ₄ (Tm) | 14 | LiF(Mg) | | | | |