

第 47 回

核燃料取扱主任者試験

放射線の測定及び放射線障害 の防止に関する技術

- (注意) (イ) 解答用紙には、問題番号のみを付して解答すること。
(問題を写し取る必要はない。)
- (ロ) 問題は全部で6問。1問題ごとに1枚の解答用紙を使用すること。

平成27年3月17日

第1問 次の文章中の□に入る適切な語句又は式を番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には、同じ語句又は式が入る。

〔解答例〕 ①－東京

- (1) □①中性子は生体内に入射すると、主に水素原子との□②散乱により、エネルギーを失い、□③中性子となる。
- (2) Ra-Be 中性子線源の遮へいには、発生する中性子線の他に□④線を考慮する必要がある。
- (3) 同じエネルギーである β^+ 線源の遮へい厚は、 β^- 線源の遮へい厚と同様に行う他に消滅□④線の遮へいが必要となる。
- (4) 1MeV の□④線を鉛又はコンクリートで遮へいした場合のビルドアップの影響を比較してみると、コンクリートの方が大きくなる。この理由としてビルドアップは、□⑤原子番号の物質では、□⑥効果による光子の□⑦は、光子エネルギーが比較的□⑤い範囲で有効であるが、1MeV の□④線では、コンクリートの方が□⑥効果に対するコンプトン効果の割合が□⑧くなるので、透過□④線に対する□⑨線の割合が大きくなるためである。
- (5) ある試料を t_s 分間測定したところ N_s カウントの計数値を得た。その時のバックグラウンドは、 t_b 分間測定して N_b カウントの計数値を得た。この場合、正味の計数率に対する標準偏差は□⑩となる。
- (6) コールドランの効用としては、操作に□⑪れ、作業□⑫、作業□⑬、作業□⑭が確認できることである。また、必要な器具類が確認できる。効率的な作業□⑬の確認から□⑮の推定ができる。この他、必要な取扱い用具類の確認と確保からは、有効な事故□⑯措置を図ることもできる。
- (7) 放射性物質の種類や量に応じて、被ばく防護措置としては、遮へいすることである。遮へいする場合は、できるだけ放射性物質の□⑰くに置く。□⑱被ばくを軽減するためには、ピンセットや tong 等の□⑲操作具を用いることが効果的であるが、作業□⑳を考慮して種類を選択する必要がある。

第2問 次の(1)～(10)のうち、___印の部分について、正しい場合は○印を、間違っている場合は×印を番号とともに記せ。ただし、×印を記したものについては、適切な語句又は数値を記せ。

〔解答例〕 (11)－○、(12)－× 東京

- (1) セリウム線量計の原理は、酸性水溶液中の Ce⁴⁺が放射線エネルギーにより、Ce³⁺に還元される反応を利用し、吸収線量を求める。
- (2) コバルトガラス等のガラス線量計は、放射線エネルギーを熱量として測定する吸収線量測定器である。
- (3) アラニン線量計は、ラジカルの生成量を ERS(電子スピン共鳴)測定装置で測定することで吸収線量を評価する。
- (4) GM 計数管は、放射線により着色するので、紫外線の吸光度を測定することにより吸収線量(5~50keV)が測れる。
- (5) 電離箱の充填ガスとしては、PR ガス(アルゴン 90%、メタンの混合気体 10%)が用いられる。
- (6) Ge 半導体検出器の 1MeV の γ 線に対するエネルギー分解能は、電荷キャリアの統計的変動や他の要因影響も入れるとおおよそ 0.2%である。
- (7) ¹²⁵I の捕集には、低エネルギーの γ (X)線を考慮すると、活性炭カートリッジが適している。
- (8) 放射性物質による汚染の起こりやすさは、物理及び化学的特性や取扱い条件で異なるが、危険度の小さい核種の特徴としては、体内に取り込まれやすく、排出し難い、特定組織への蓄積がある核種、長半減期核種や α 線を放出する核種等があげられる。
- (9) トリチウムの表面汚染の測定では、トリチウムのふき取り効率を高め、離脱を少なくさせる目的で、BF₃ 比例管式サーベイメータを使用するのがよい。
- (10) ビルドアップを無視した目安の計算として、⁶⁰Co の γ 線に対する鉄の半価層を 2 cm とすると、放射線量率を 1/1000 にするのにおおよそ必要な鉄の厚さを計算で求めると 10cmになる。

第3問 次の問いに答えよ。また、計算式も示して解答せよ。

- (1) ¹³⁷Cs 点線源から 5m 離れた点 H の光子フルエンス率が $10^7 \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であるとき、点 H での空気吸収線量率 [$\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$] はいくらか。また、この ¹³⁷Cs 点線源から 2m 離れた点 P での空気吸収線量率 [$\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$] はいくらか。ただし、放出 γ 線のエネルギーは 662keV、1eV は $1.6 \times 10^{-19} \text{J}$ 、空気の質量エネルギー吸収係数を $2.9 \times 10^{-3} [\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}]$ とする。
- (2) 放射能が不明の ¹³⁷Cs の密封線源がある。その線源から 2m 離れた位置での 1cm 線量当量率が $5 \mu \text{Sv/h}$ であった場合、この線源の放射能 [MBq] はどのくらいか。ただし、この密封線源を閉じ込めているカプセルの遮へい効果は無視する。また ¹³⁷Cs の密封線源の 1cm 線量当量率定数は、 $0.091 \mu \text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ とする。

第4問 放射線の防護体系に関する次の文章中の□に入る適切な語句又は数字を番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には、同じ語句又は数字が入る。

〔解答例〕 ⑪－東京

- (1) □①委員会（ICRP）による、放射線防護の考え方、□②限度、規制のあり方等に関する勧告は、各国の原子力安全の基準として受け入れられている。我が国においてもその基本的な考え方が尊重され、□③委員会が示した安全審査指針などに反映されている。人の健康を防護するためには、「確定的影響を□④し、確率的影響のリスクを低減すること」が求められる。また、その達成には、確定的影響の□⑤値ならびに、確率的影響のリスク低減を□⑥的に達成できる線量レベルを知る必要がある。
- (2) ヒト集団のリスク推定では、広島・長崎の原爆被ばく者の疫学データからの推計とともに、動物実験で得られた知見の援用が図られている。リスクの指標には、□⑦誘発の突然変異率に相当する突然変異を引き起こす線量により定義される□⑧線量を用いる場合がある。ICRPでは、動物実験のデータなどを元に、ヒト集団の□⑧線量には、□⑨Gyの値が見積もられており、これは□⑩側に配慮された推定値とされている。

第5問 放射線障害に関する次の文章中の□に入る適切な語句又は数字を番号とともに記せ。

〔解答例〕 ⑫－東京

- (1) 放射線の生物作用を細胞致死の観点からみると、細胞分裂の□①が誘導され、その後数回までの分裂を経た後に細胞死を引き起こす増殖死（分裂死）と、一度も分裂しないまま細胞死に導く□②の2つの様式が認められる。細胞死の主要な原因は遺伝子（DNA）の損傷に由来するが、これが正しく修復されないと□③や突然変異が誘発される。細胞には□④という自ら死を選択する仕組みが備わっており、異常な細胞は積極的に排除される。
- (2) 放射線で誘発されるDNA損傷は、環境中の変異原曝露や体内の□⑤過程で形成されるものと本質的に違いはない。放射線の生物効果は、線質や□⑥に応じて、特定の遺伝子損傷の形成頻度を高めることにある。高LET放射線では、低LET放射線に比較して、より□⑦致死効果をもつ。その差は、多数の損傷が近接して形成される□⑧DNA損傷の関与など、□⑨な損傷の形成とその修復困難さに起因する。

- (3) 放射線の細胞致死作用は、主たる標的である DNA の二重鎖構造を考慮すると、一本鎖切断よりも修復され難い二本鎖切断の形成に依存し、⑩モデルによって特徴付けされる。この関係は次の数式で示される。

$$S = \exp(-(\alpha D + \beta D^2))$$

定数 α は 1 つの粒子 (トラック) による二本鎖切断の生成率であり、定数 β は 1 つの粒子 (トラック) によってできた ⑪ 箇所的一本鎖切断が近接して存在し、結果として二本鎖切断となる発生率を示す。D を ⑫ とすると、S は生存 (生残) 率を示す。低い線量域では、 α の寄与が大きく、生存率曲線は ⑬ に近い形状となり、線量が高くなるに従い、 β の寄与が大きくなる。低線量域でも ⑭ の影響に関しては、 β の寄与が無視できないため、生存率曲線に肩が形成されることになる。

- (4) 放射性核種は、物理的や ⑮ な性状の違いにより、組織や臓器への親和性が異なっている。防護においては、この点を踏まえた対策が求められる。例えば、 ^{131}I は ⑯ における局在性が顕著である。 ^{239}Pu が不溶性の ⑰ である場合、呼気から肺に至ると不可逆的に沈着しやすい。⑱ は、可溶性の ^{239}Pu と同様に、⑲ への親和性が高い。一方、全身に分布がみられるのは、 ^{40}K や ^3H 、 ^{14}C である。 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ も全身に広がるが、⑳ への分布が高い傾向にある。

第 6 問 放射線防護の観点から、以下の語句について簡潔に説明せよ。

- (1) ブラッグピーク
- (2) 防護の 3 原則
- (3) 集団線量
- (4) デトリメント
- (5) 現存被ばく (状況)