

第 55 回

原子炉主任技術者試験（筆記試験）

放射線測定及び放射線障害の防止

6 問中 5 問を選択して解答すること。（各問 20 点：100 点満点）

（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） 1 問題ごとに 1 枚の解答用紙を使用すること。

平成 25 年 3 月 13 日

第1問 次の用語について簡潔に説明せよ。

- (1) LNT (しきい値なし直線) 仮説
- (2) HEPAフィルタ
- (3) サブマージョン
- (4) 呼吸保護具の防護係数 (PF)
- (5) 線量・線量率効果係数 (DDREF)

第2問 放射性壊変に関する次の問いに答えよ。

- (1) 文章中の に入れるべき適切な語句を番号とともに記せ。同じ番号の には同じ語句が入る。(解答例 ⑬—核燃料物質)

α 壊変とは、 ① の原子核である α 粒子を放出し、エネルギー的に安定な状態に転移する現象である。

β^- 壊変とは、原子核の中の ② が壊変し ③ に変わり、 ④ と反ニュートリノを放出し、エネルギー的に安定な状態に転移する現象である。一方、 ③ が ② に変わった方がエネルギー的に安定な状態になる場合があり、この場合の壊変を β^+ 壊変といい、壊変に伴い ⑤ とニュートリノを放出する。また、この過程において ⑤ を放出せず原子核が ⑥ を捕獲し、ニュートリノだけを放出する場合があり、これを EC 壊変といい、これに伴って ⑦ 又はオージェ電子が発生する。

α 壊変や β 壊変の結果生じた核が基底状態にあるとは限らず、励起状態にあることが多い。その場合、 γ 線を放出しエネルギー準位の低い状態へ転移 (γ 転移) する。しかし、励起状態の性質によっては、この γ 転移の半減期が長い場合があり、そのような状態を ⑧ といい、このような γ 転移を ⑧ 転移という。また、この際、 γ 線を放出する代わりに ⑥ を放出する場合があり、この転移を ⑨ といい、この時放出される電子を ⑨ 電子という。 ⑨ の割合は、質量数の ⑩ 原子核ほど大きく、 ⑪ の ⑥ が ⑫ の ⑥ より放出されやすい。

- (2) 原子番号 Z 、質量数 A の原子核が以下の壊変をするとき、壊変後の原子番号と質量数はそれぞれどのようなになるか答えよ。(解答例 (リ) : $Z + 3$ 、(ヌ) : $A + 8$)

壊変様式	壊変後の原子番号	壊変後の質量数
α 壊変	(イ)	(ロ)
β^- 壊変	(ハ)	(ニ)
β^+ 壊変	(ホ)	(ヘ)
EC 壊変	(ト)	(チ)

第3問 次の文章中の□に入れるべき適切な語句あるいは数値をそれぞれの選択肢から選び、番号で答えよ。(解答例 (h)－⑤)

(1) 端窓型GM計数管式表面汚染サーベイメータで、軽水炉の補機系冷却水に起因すると考えられる放射性物質による汚染の状況を調べることにした。

このサーベイメータのバックグラウンド計数率を評価した。あらかじめ電源を投入しておき、周囲に放射性物質による汚染がない場所に移動した後に、時定数の□(a)倍程度経過した後、□(b)以上の積算計数を測定し、そこからバックグラウンド計数率を求めた。バックグラウンド計数率は、およそ 100s^{-1} であった。

- | | | | | |
|-----|---------|--------|---------|--------|
| (a) | ① 1 | ② 3 | ③ 5 | ④ 10 |
| (b) | ① 10 秒間 | ② 1 分間 | ③ 10 分間 | ④ 1 時間 |

(2) 次に、標準線源を用いて、検出効率の評価を行った。このサーベイメータの円形入射窓の面積が 20cm^2 なので、標準線源には、大きさが□(c)の、□(d)の標準線源を用いた。

標準線源の強度は $200\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ とされていた。この線源を測定したところ、正味計数率は 1600s^{-1} であった。この時、この計数管の機器効率は、およそ□(e)と評価された。

- | | | | | |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| (c) | ① 直径 2cm 円形 | ② 直径 5cm 円形 | ③ 一辺 5cm 方形 | ④ 一辺 10cm 方形 |
| (d) | ① ^{36}C 1 | ② ^{241}Am | ③ ^{239}Pu | ④ ^{54}Mn |
| (e) | ① 20% | ② 30% | ③ 40% | ④ 50% |

(3) このサーベイメータを用いて表面密度の測定を行った。およそ 1m^2 の範囲を測定したところ、平均計数率は 500s^{-1} であった。この範囲の表面汚染密度はおよそ□(f) Bq/cm^2 であった。なお、機器効率には前段で評価した値を用い、線源効率は 50%とする。これは、法令に定める管理区域内の表面密度限度を□(g)と評価された。

- | | | | | |
|-----|----------|---------|--------------------|-------|
| (f) | ① 10 | ② 30 | ③ 50 | ④ 100 |
| (g) | ① 下回っている | ② 超えている | ③ 超えているかどうか判断できない。 | |

第4問 次の文章中の□□□□に入れるべき適切な語句を番号とともに記せ。同じ番号の□□□□には同じ語句が入る（解答例 ⑪—東京）。また、(5)の問いに答えよ。

- (1) 内部被ばくに関するモニタリングには、体内に残留している放射性物質の種類及び量を測定装置を用いて体の外から放射線を直接測定する□①、人体から採取した排泄物または組織などの生体試料を化学分析することにより間接的に評価する□②の他、体内汚染の可能性や程度を簡便かつ短時間で知る方法として、立ち入った場所の□③、鼻孔スミア測定、呼気測定より推定する方法がある。
- (2) 体内汚染の経路には、□④、経口摂取、□⑤あるいは傷口からの侵入がある。
- (3) 体内に入った放射性物質は、全身に均等に分布する場合と特定の組織・臓器に選択的に取り込まれて沈着する場合がある。たとえば、よう素は□⑥に、ストロンチウムは□⑦に沈着するが、セシウムは□⑦に数%、□⑧に約80%、残りは肝臓などに沈着する。
- (4) 排泄物試料のうち、□⑨中に放射性物質が検出されることは、放射性物質の摂取経路を問わず、その放射性物質が□⑩に存在したことを示すものであり、その放射性物質によって全身的な汚染が起きたものと判断できる。
- (5) 個人の外部被ばく線量の測定に用いられている蛍光ガラス線量計と電子式線量計について、それぞれ長所を3つ、短所を2つずつ記せ。

第5問 照射線量計（体積 500cm^3 ）に ^{60}Co γ 線を照射したところ、 0.52nA の電流値が得られた。このとき、次の問いに答えよ。ただし、電荷素量 $1.60 \times 10^{-19}\text{C}$ 、空気のW値を 34eV 、空気の密度を $1.30 \times 10^{-3}\text{g/cm}^3$ 、 ^{60}Co γ 線に対する空気吸収線量から 1cm 線量当量への換算係数を 1.17Sv/Gy 、 $1\text{eV} = 1.60 \times 10^{-19}\text{J}$ とする。

- (1) 照射線量率 $[\text{C/kg/s}]$ を計算の過程を示して答えよ。
- (2) 空気の吸収線量率 $[\text{Gy/s}]$ を計算の過程を示して答えよ。
- (3) この場所で30分間作業した場合の 1cm 線量当量 $[\text{mSv}]$ を計算の過程を示して答えよ。

第6問 次の文章中の□に入れるべき適切な語句あるいは数値を下欄から選択し、番号とともに記せ。同じ番号の□には同じ語句又は数値が入る。(解答例①—東京)

放射線に対する感受性は、一般に□①の頻度が高い臓器・組織ほど高いことが知られている。成人において放射線感受性が高い部位は、赤色骨髄、消化管、□②、小腸の上皮などで、逆に低い部位は、□③、骨、脳などである。

例えば、□②への影響については、まず□④ Gy を超えると□⑤が見られ、線量が高くなるにつれて紅斑や水泡が、□⑥ Gy 以上になると□⑦が生じる。□②の組織のうち感受性が高いのは基底細胞層で、平均□⑧程度の深さにある。これらは、□⑨といい、あるしきい線量を超えると影響が出る。

一方で、低い線量でも、被ばく線量が増すにつれて、影響の発生確率が増すとみなされている影響を□⑩という。□⑩の典型的な例は□⑪である。□⑩による影響の大きさの評価には、放射線の健康影響に関する疫学調査の結果が使われている。

わが国では、原子力発電所で働く□⑫の疫学調査が継続的に行われている。最新の調査結果は□⑬に出された。□⑭を除く全ての□⑪による□⑮は、累積線量との間で□⑯傾向が見られたものの、肺□⑪や肝臓□⑪による□⑮が有意に高く、喫煙や飲酒などの生活習慣の影響を否定できないという結論になっている。なお、□⑭については有意な□⑮の□⑯傾向は現れていない。

国際的には、種々の疫学調査の結果に基づいて、放射線防護の考え方が形作られている。放射線防護の三原則は、□⑰、□⑱、□⑲である。□⑰と□⑱は、放射線の利用に伴う利益と□⑳の関係で扱われる。特に、□⑱は、利益と□㉑の差引きを最大にすることを求めることであり、具体的な運用の数値を決める鍵となる原則である。

- | | | | | |
|------------|-----------|---------|----------|---------|
| ・ 1 | ・ 3 | ・ 5 | ・ 7 | ・ 10 |
| ・ 70 μm | ・ 3mm | ・ 1cm | ・ 脳卒中 | ・ 遺伝的影響 |
| ・ ガン | ・ 神経障害 | ・ 急性潰瘍 | ・ 脱毛 | ・ 皮膚炎 |
| ・ 知能障害 | ・ 機能不全 | ・ 発生確率 | ・ 発症範囲 | ・ 重篤度 |
| ・ 確率的影響 | ・ 隔世遺伝 | ・ 確定的影響 | ・ 局所影響 | ・ 全従業員 |
| ・ 放射線業務従事者 | | ・ 増加 | ・ 横ばい | ・ 減少 |
| ・ 寿命 | ・ 死亡率 | ・ 余命 | ・ 被ばく | ・ 損失 |
| ・ 損害 | ・ 行為の正当化 | ・ 適正支出 | ・ 防護の最適化 | ・ ALAP |
| ・ 品質保証 | ・ 個人線量の限度 | | ・ 平成10年 | ・ 平成18年 |
| ・ 平成22年 | ・ 白血病 | ・ 白内障 | ・ 皮膚 | ・ 筋肉 |
| ・ 血液 | ・ 肝臓 | ・ 心臓 | ・ 細胞死 | ・ 細胞分裂 |