

第 58 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 28 年 3 月 18 日

第1問 次の用語について簡潔に説明せよ。

- (1) 倍加線量
- (2) P A Z (Precautionary Action Zone)
- (3) 確率的影響
- (4) 外部放射線被ばく防止の三原則
- (5) O S L (Optically Stimulated Luminescence) 線量計

第2問 次の問いに答えよ。

- (1) 排気中の水蒸気状トリチウム放射能濃度を測定するため、排気筒から放出される空気の一部を冷却凝縮器に通過させ、得られた凝縮水 86 g から 2 g の試料水を採取し、液体シンチレーション計数装置で測定したところ、トリチウム正味計数率で  $3.3 \times 10^5$  cpm (1 分間当たりの計数値) を得た。排気中の水蒸気状トリチウムの平均放射能濃度 ( $\text{Bq}/\text{cm}^3$ ) を計算式を示して答えよ。ただし、試料採取期間中における平均飽和水蒸気密度は  $2.0 \times 10^{-5} \text{g}/\text{cm}^3$  及び平均相対湿度は 40% とし、冷却凝縮器の水蒸気状トリチウムの捕集効率は 100% とする。また、液体シンチレーション計数装置の試料測定時のトリチウム計数効率は 30% とする。
- (2) 排気中のトリチウム放射能濃度を測定評価する場合、上記 (1) による測定方法以外に、①液体捕集法、②固体捕集法及び③直接採取法による測定方法がある。①、②及び③それぞれの測定方法について、使用する測定用資機材を挙げて説明するとともに、試料採取及び測定評価に際して留意すべき事項とその理由を説明せよ。

第3問 次の(1)～(10)の問いについて、①から⑤までの5つの選択肢のうち、適切な答えを1つだけ選べ。

[解答例] (11) ①

- (1) 放射線感受性が非常に高い臓器・組織の正しい組み合わせは、次のうちどれか。  
① リンパ組織と骨髄 ② 骨髄と神経組織 ③ 神経組織と生殖腺 ④ 生殖腺と甲状腺  
⑤ 甲状腺と骨髄
- (2) 次の放射線障害のうち、しきい線量があるものの組み合わせはどれか。  
① 皮膚潰瘍と白血病 ② 白血病と不妊 ③ 不妊と貧血 ④ 貧血と甲状腺がん  
⑤ 甲状腺がんと皮膚潰瘍
- (3) 放射線被ばくと疾患に関する次の記述のうち、正しいものの組み合わせはどれか。  
A 0.5 Gy を超えて全身急性被ばくした場合、被ばく後の早い時期から末梢血中のリンパ球数の一時的な増大が確認される。  
B 精巣への影響としては、一時的な不妊や永久不妊などがある。  
C 小腸の大部分に短期間に十数 Gy を超えて被ばくすると、下痢、下血、敗血症が出現し死亡率が高くなる。  
D 皮膚への影響としては、一時的な紅斑と脱毛、表皮の萎縮、毛細血管の拡張、潰瘍などがある。  
① ABCのみ ② ABDのみ ③ ACDのみ ④ BCDのみ ⑤ ABCDすべて
- (4) 放射線による人体への影響に関する次の記述のうち、正しいものの組み合わせはどれか。  
A 生殖細胞に起こった障害にも身体的影響がある。  
B 胎児被ばくによって起こる異常は全て遺伝的影響である。  
C 悪性腫瘍の発生は身体的影響である。  
D 遺伝的影響は子孫にまで伝わるが、身体的影響は全て被ばく直後の急性障害として現れる。  
① AとB ② AとC ③ BとC ④ BとD ⑤ AとD
- (5) 体内に取り込まれた場合に、全身にほぼ一様に分布する放射性核種の正しい組み合わせは、次のうちどれか。  
①  $^3\text{H}$ ,  $^{55}\text{Fe}$  ②  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ③  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  ④  $^{40}\text{K}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  ⑤  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^3\text{H}$

(6) GM 計数管で  $\beta$  線を計測する場合、計数効率に直接関係するものの組み合わせは、次のうちどれか。

- A GM 計数管の窓面積
- B 線源から GM 計数管までの距離
- C 線源内部における吸収 (自己吸収)
- D GM 計数管の窓の厚さ
- E 線源保持体または線源自体における散乱

① ABのみ ② ABCのみ ③ ABDのみ ④ ABCDのみ ⑤ ABCDEすべて

(7)  $\alpha$  線の測定に適切な検出器の組み合わせは、次のうちどれか。

- A BGO 検出器, B ZnS (Ag) 検出器, C Si 検出器, D NaI (Tl) 検出器, E Ge 検出器

① AとB ② AとC ③ BとC ④ CとD ⑤ DとE

(8) 80 MBq の  $^{60}\text{Co}$  点線源を 2 cm 厚の鉛容器の中心に入れた。このとき、鉛容器の中心から 50 cm の位置における 1 cm 線量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) に最も近い値は次のうちどれか。ただし、 $^{60}\text{Co}$  の 1 cm 線量当量率定数は  $0.35 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線に対する鉛の半価層を 1 cm とし、散乱線の影響は考慮しないものとする。

① 1.8 ② 7 ③ 14 ④ 28 ⑤ 56

(9) 次の放射線検出器と放射線の組み合わせのうち、出力信号に放射線のエネルギー情報を持たない組み合わせはどれか。

- ① Si 半導体検出器と  $\alpha$  線
- ② GM 計数管と  $\beta$  線
- ③ 液体シンチレーション検出器と  $\beta$  線
- ④ NaI (Tl) シンチレーション検出器と  $\gamma$  線
- ⑤ 比例計数管と特性エックス線

(10) 2 GBq の  $^{137}\text{Cs}$  (半減期: 30 年 =  $9.5 \times 10^8$  秒) の質量 (g) に最も近い値は、次のうちどれか。ただし、アボガドロ定数は  $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 、 $\ln 2 = 0.693$  とする。

①  $6.2 \times 10^{-4}$  ②  $7.2 \times 10^{-4}$  ③  $8.4 \times 10^{-4}$  ④  $9.4 \times 10^{-4}$  ⑤  $1.4 \times 10^{-3}$

第4問 管理区域内の作業空間に放射性物質が漏えいして、放射線業務従事者が誤って吸入した場合を想定し、次の問いに答えよ。

- (1) 漏えいした放射性物質は放射性ヨウ素であったので、ヨウ素捕集材と空気吸引装置を用いて捕集した。この際に用いる適切なヨウ素捕集材を記せ。また、揮発性ヨウ素の場合には、このヨウ素捕集材にある化学物質を添着すると捕集効率が高くなる。この化学物質の名称を記せ。
- (2) 空気吸引装置により、空气中放射性ヨウ素を30ℓ/分で10分間吸引し、Ge半導体検出器で計測した結果、吸引した放射性ヨウ素は $^{131}\text{I}$ であり、その放射エネルギーは1.08MBqであった。ヨウ素捕集材の捕集効率を90%として、 $^{131}\text{I}$ の平均空气中濃度[Bq/cm<sup>3</sup>]を算出せよ。有効数字2桁で記せ。
- (3) 放射線業務従事者は、この作業空間で30分間作業をした。作業の際には防護係数が50の呼吸保護具を装着していた。放射線業務従事者の呼吸率を1.2m<sup>3</sup>/h、 $^{131}\text{I}$ の吸入による実効線量係数を $2.0 \times 10^{-5}$  mSv/Bqとして吸入による内部被ばくの実効線量を算出せよ。有効数字2桁で記せ。
- (4) 放射線業務従事者の体内に取り込まれた $^{131}\text{I}$ は、それ自体の放射性壊変と人体の代謝作用により減衰する。 $^{131}\text{I}$ の物理的半減期を8日、生物学的半減期を120日とした場合、実効半減期は何日となるか計算過程を示して答えよ。

第5問 原子力災害対策指針における放射性物質又は放射線の放出形態に関する以下の問いに答えよ。

次の文章中の□に入る適切な語句を下欄から選択し、対応する番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には同じ語句が入る。

〔解答例〕 ㉑ 原子炉

- (1) 原子炉施設で想定される放射性物質の放出形態

原子炉及びその附属施設（以下「原子炉施設」という。）においては、多重の物理的□①が設けられているが、これらの□①が機能しない場合は、放射性物質が周辺環境に放出される。その際、□②へ放出の可能性がある放射性物質としては、気体状の□③やキセノン等の放射性□④、揮発性の放射性□⑤、気体中に浮遊する微粒子（以下「エアロゾル」という。）等がある。これらは、気体状又は粒子状の物質を含んだ空気の一団（□⑥）となり、移動距離が長くなる場合は□⑦により濃度は□⑧なる傾向があるものの、風□⑨方向の広範囲

に影響が及ぶ可能性がある。また、特に⑩がある場合には、地表に沈着し⑪留まる可能性が高い。さらに、土壌や瓦礫等に付着する場合や冷却水に溶ける場合があり、それらの飛散や流出には特別な留意が必要である。

実際、平成23年3月に発生した東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故においては、格納容器の一部の⑫機能の喪失、溶融炉心から発生した⑬の爆発による原子炉建屋の損傷等の結果、放射性セシウム等の放射性物質が大量に⑭環境に放出された。また、炉心冷却に用いた冷却水に多量の放射性物質が含まれて海に流出した。したがって、事故による放出形態は必ずしも単一的なものではなく、複合的であることを十分考慮する必要がある。

## (2) 核燃料施設で想定される放射性物質又は放射線の放出形態

核燃料施設においては、火災、爆発、漏えい等によって当該施設から核燃料物質の⑭や⑮等がエアロゾルとして放出されることが考えられる。これらの放射性物質は上記(1)と同様に⑥となって放出、拡散される。⑯を通して放出された場合には、気体状の物質とほぼ同様に振る舞うと考えられる。ただし、爆発等により⑯を通さずに放出された場合には、粗い粒子状の放射性物質が多くなる。

臨界事故が発生した場合、⑰反応によって生じた⑰生成物の放出に加え、反応によって⑱線及び⑲線が発生する。遮蔽効果が十分な場所で発生した場合は放射線の影響は無視できるが、効果が十分でない場合は、⑱線及び⑲線に対する防護が必要である。

なお、防護措置の実施に当たっては、⑱線及び⑲線の放射線量は発生源からの距離のほぼ二乗に⑳として減少する点も考慮することが必要である。

送風機、長期間、短期間、防護壁、大気、原子炉建屋内、ウラン、プルトニウム、クリプトン、ヘリウム、アルゴン、希ガス、ヨウ素、セシウム、プルーム、拡散、凝集、低く、高く、下、上、降雨雪、微風、封じ込め、比例、冷却、水素、酸素、フィルタ、核分裂、核融合、中性子、ベータ、ガンマ、アルファ、反比例、遮蔽壁

第6問 放射性固体廃棄物に関する我が国の処理処分の方策に関する次の表に基づき、以下の問いに答えよ。

廃棄物の種類		廃棄物の例	発生場所	処分の方法(例)
低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物	放射能レベルの極めて低い廃棄物	原子力発電所	トレンチ処分
		放射能レベルの比較的低い廃棄物		ピット処分
		放射能レベルの比較的高い廃棄物		余裕深度処分
	ウラン廃棄物	消耗品、スラッジ、廃器材	ウラン濃縮・燃料加工施設	余裕深度処分、ピット処分、場合によっては地層処分
	超ウラン核種を含む放射性廃棄物 (TRU廃棄物)	燃料棒の部品、廃液、フィルタ	再処理施設、MOX燃料加工施設	地層処分、余裕深度処分、ピット処分
高レベル放射性廃棄物		ガラス固化体	再処理施設	地層処分
クリアランスレベル以下の廃棄物		原子力発電所解体廃棄物の大部分	上に示した全ての発生場所	再利用/一般の物品としての処分

<出典：原子力・エネルギー図面集2015>

(1) 放射性固体廃棄物のそれぞれの処分方法について、空欄に入る説明を簡潔に記せ。

[解答例] ⑧：地下水位より浅い地中約10数mの岩盤支持層に設置し、ベントナイト混合土などの不透水土質で覆土する。

	人工バリア	天然バリア	想定される管理期間
トレンチ処分	フレキシブルコンテナ等 安全評価上は人工バリアの効果を期待しない	地中数m 地下水位より浅い層、 低透水性覆土、等	⑥
ピット処分	①	地中約10数m 岩盤支持 低透水性覆土、等	⑦
余裕深度処分	②	④	数100年
地層処分	③	⑤	数万年

(2) 放射性固体廃棄物の処理・処分にあたっては、減容処理が効果的である。減容処理方を3つ挙げ、それぞれについて適用範囲、およその減容率を含めて簡潔に説明せよ。

【メモ】

【メモ】

【メモ】

【メモ】

【メモ】