

第 64 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。

（指示がない限り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。

令和4年3月17日

第1問 次の用語について、簡潔に説明せよ。

- (1) 荷電粒子平衡
- (2) 線量率効果 (線量率依存性)
- (3) 中深度処分
- (4) 等価線量
- (5) 空気カーマ

第2問 放射線測定に用いられる検出器に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 液体シンチレーション検出器は、通常の検出器では測定が困難であるトリチウムなどが放出する低エネルギーのベータ線を高い計測効率で測定することができるとされている。その理由を簡潔に説明せよ。
- (2) NaI (Tl) シンチレーション検出器において、検出器を遮へい体で覆う他に数 mm 程度のプラスチック製のキャップをかぶせて使用する場合がある。その理由を簡潔に説明せよ。
- (3) ガンマ線分光分析を行う場合、NaI (Tl) シンチレーション検出器より半導体検出器の方が有効である理由を簡潔に説明せよ。
- (4) 電子式個人線量計について、その利点と主に用いられる検出器の種類について簡潔に説明せよ。
- (5) ホールボディカウンターについて、主に用いられる検出器の種類と計測される主な核種について簡潔に説明せよ。

第3問 トリチウム、放射線の人体影響及び放射線リスク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番号とともに記せ。なお、⑪～⑳については選択肢から選択せよ。なお、同じ番号の□には、同じ語句が入る。

〔解答例〕 ㉑－東京

- (1) トリチウムは最大エネルギー①の②を放出し、半減期 12.3 年で安定核種である③に壊変する放射性同位元素である。トリチウム 1 g あたりの放射能は 3.56×10^{14} Bq である。その主な発生源は④、核爆発実験、原子力施設、の3つに大別できるが、現在の環境中のトリチウムは主として、④及び核爆発実験によるものであり、そのほとんどは⑤の形で存在する。
- (2) ヒトの放射線による健康影響は、⑥と⑦に大別される。⑥とは、一定の線量(⑧という)以上の放射線を被ばくした場合に症状が現れる影響であり、被ばくした組織の細胞が多数死滅することにより発症する。被ばく後数週間で症状が現れる早期影響として⑨、長い潜伏期後に症状が現れる晩発影響として⑩がある。
- (3) ⑦は被ばくした線量に応じて発生率が変動する影響で、被ばくした組織を構成している細胞の DNA 上に⑪が⑫することにより発症する。被ばくにより発症する⑬及び⑭がこれに相当し、⑮も⑦と考えられている。
- (4) 原爆被ばく者の追跡調査研究では、被ばく後⑯頃から⑬が増加し始めたが、その後発生頻度は低くなっている。一方で⑭は、約⑰の潜伏期間を経て発生頻度が増加し始めたことが分析により示されている。⑭等の発生頻度は、過剰相対リスク、あるいは過剰絶対リスク等としてリスク評価されているが、これらの値は、⑱、あるいは⑲、⑳によって異なる。

【選択肢】※⑪～⑳のみで使用

年齢	線量限度	分岐比	血液型	重篤度
2年	5年	10年	20年	循環器系疾患
部位	神経障害	エネルギー	がん	動脈硬化
デトリメント	アポトーシス	減少	蓄積	適応応答
突然変異	内部被ばく	外部被ばく	細胞死	摂取
性別	実効半減期	白血病	線量係数	遺伝性影響
ラジカル	LNTモデル	膠原病	消化不良	白血球数
p53タンパク質	アミノ酸	Q値	D値	

第4問 施設から放出される空気中のトリチウム水 (HTO) の放射能濃度を評価するため、冷却凝集法により試料水を採取し、液体シンチレーション検出器で測定する。このとき、以下の問いに答えよ。

(1) 下記に示す条件から、トリチウム水の空気中の放射能濃度及び放出量を求め、計算過程とともに示せ。

- ・採取期間中の平均相対湿度：50 (%)
- ・採取期間中の平均飽和水蒸気圧：21 (g/m³)
- ・採取時間：10 (h)
- ・施設からの排気流量率：1×10⁶ (m³/h)
- ・空気中のトリチウム水捕集効率：100 (%)
- ・液体シンチレーション計数装置のトリチウム計数効率：20 (%)
- ・液体シンチレーション計数装置で測定した試料水5 g中のトリチウム正味計数率：
6.0×10³ (カウント/min) (1分間当たりの計数値)

(2) 空気中のトリチウム水の放射能濃度の測定方法について、冷却凝集法以外の他の方法について1つあげ、解説せよ。

第5問 作業室において、 ^{137}Cs による一様な表面汚染が発生した。床の汚染状況を確認するため、間接測定法（スミア法）により GM 計数管を用いて測定を行う。このとき、以下の問いに答えよ。なお、条件は下記のとおりとする。

- ・自然計数率：10 (s^{-1})
- ・スミア試料の計数率：60 (s^{-1})
- ・GM 計数管の計数効率：20 (%)
- ・スミア試料の拭き取り面積：100 (cm^2)
- ・スミア試料の拭き取り効率：50 (%)
- ・GM 計数管の測定に数え落としはない。

- (1) 作業室の床の表面汚染密度を単位とともに答えよ。
- (2) 作業室へ作業者が入室し除染作業を計画しようとするときの作業室内の空気中の放射能濃度を単位とともに答えよ。なお、除染作業時の再浮遊係数は 2.0×10^{-5} (cm^{-1}) とする。
- (3) 作業者が作業室において除染作業を 2 時間行うときの ^{137}Cs の吸入摂取による体内摂取量を単位とともに答えよ。なお、作業者の呼吸率は 2.0×10^4 (cm^3/min) とし、RF (Respirable Fraction、吸入摂取に寄与する割合) は 1.0 とする。
- (4) この場合における作業者の吸入摂取による実効線量を単位とともに答えよ。なお、 ^{137}Cs を吸入摂取した場合の実効線量係数は 7.0×10^{-6} (mSv/Bq) とする。

第6問 放射線の遮へいに関する以下の問いに答えよ。

- (1) 次の文章中の□に入る適切な語句を番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には、同じ語句が入る。

〔解答例〕 ①－東京

放射線の中でも透過力が強いガンマ線には鉛、鉄、コンクリート等を用いた遮へいを行う。物質にガンマ線が入射した場合、低エネルギーのガンマ線は□①□によって吸収される。高エネルギーのガンマ線は□②□、更に高エネルギーのガンマ線では□③□によってエネルギーを失う。このような相互作用によってエネルギーが失われ物質中ではガンマ線の強度は指数関数的に小さくなる。その強度が半分になる厚さを□④□といい、通常は物質の□⑤□に反比例する。

アルファ線は□⑥□が強いのでその透過力は小さく、紙や数 cm の空気層で止められる。しかし、その□⑥□の強さのため、アルファ線を出す物質を体内に取り込んだ場合には、その□⑦□に十分注意しなければならない。

物質中を移動する中性子は、原子核と衝突するまで直進する。この衝突を□⑧□という。互いに衝突した原子核が中性子とほぼ等しい質量の□⑨□である場合、運動量保存の法則に従って□⑨□は元々の中性子が持っていた運動量のほとんどを受け取り、はじき出され、中性子はほとんどの運動量を失うが、衝突の結果生じる二次的に放射された粒子は□⑩□を持っており、□⑥□があるので計測することが可能である。

- (2) ある線源を用いて照射実験を行ったところ、線源から直線上で 4 m 離れた P 点における線源使用中の 1 cm 線量当量率は 0.25 mSv/h であった。

P 点が、管理区域内の人が常時立ち入る場所である場合、この照射実験を行う作業者の被ばく管理上の問題の有無、問題がある場合はその問題と対策について簡潔に説明せよ。

また、この線源を 1 週間当たり 10 時間使用する場合、線源と P 点を通る直線上にある Q 点を管理区域の境界に設定するためには、線源から Q 点までの距離をおよそ何 m 以上とするべきか計算で求めよ。

ただし、1 年は 52 週及び 3 か月は 13 週とし、散乱線による影響や照射実験装置による遮へい効果、管理区域境界の壁による遮へい効果はないものとする。