

## 第 66 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6年3月15日

第1問 次の文章について、に入る適切な語句を下欄から選択し、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－東京

- (1) 放射線には直接電離放射線である①、②等と、間接電離放射線である③、④等がある。質量を持たない③と物質との相互作用においては、③のエネルギーが高くなるにつれて、⑤→⑥→⑦の順に起こりやすくなり、例えばGe半導体検出器を用いた⑧測定では、⑦のため、鋭い⑨が観察されることがある。⑨を観察できる放射性核種としては⑩がある。
- (2) 国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告する放射線防護の三原則のうち、防護の最適化に関しては、防護対策を講じるかの判断において、⑪及び⑫要因を考慮して合理的に達成可能な限り低くできるかを定めるプロセスを指す。このことをAs Low As Reasonably⑬の頭文字をとってALARAと言う。三原則の残りは、線量制限と⑭である。⑭は、放射線に関する計画された活動が⑮よりも大きな⑯を個人と⑰にもたらすかどうか等を定めるプロセスを指す。
- (3) 放射線被ばくによる確定的影響の代表的なものとして、一時的不妊、造血能低下、一時的脱毛、及び、白内障（視力低下）がある。それぞれのしきい線量は、⑱、⑲、⑳、㉑ Gy程度と評価されている。

【選択肢】

- |               |             |                    |                   |                   |
|---------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| ・0.1          | ・0.4        | ・0.5               | ・3                | ・4                |
| ・5            | ・10         | ・ $^{55}\text{Fe}$ | ・ $^{14}\text{C}$ | ・ $^{88}\text{Y}$ |
| ・ $\alpha$ 線  | ・ $\beta$ 線 | ・ $\gamma$ 線       | ・ $\delta$ 線      | ・中性子線             |
| ・電子ニュートリノ     | ・電子対生成      | ・コンプトン効果           | ・光電効果             | ・消光効果             |
| ・後方散乱         | ・質量欠損       | ・核破碎反応             | ・リスク係数            | ・リスク管理            |
| ・DNA二本鎖切断     | ・最小化        | ・遵守                | ・余剰摂取             | ・半減期              |
| ・正当化          | ・潜在被ばく      | ・免除                | ・害                | ・放電               |
| ・線量当量         | ・実効線量       | ・線量拘束値             | ・集団線量             | ・線量率効果            |
| ・チェレンコフ       | ・潜伏期        | ・1 cm 線量当量率        | ・便益               | ・標準人              |
| ・社会           | ・社会的        | ・経済的               | ・確定的              | ・確率的              |
| ・エネルギースペクトル   | ・決定経路       | ・Accountable       | ・Achievable       | ・Acceptable       |
| ・シングルエスケープピーク |             |                    |                   |                   |

第2問 次の用語について、簡潔に説明せよ。

- (1) 放射線の晩発性影響
- (2) LNT モデル
- (3) 実効半減期
- (4) 内部転換電子とオージェ電子
- (5) 線エネルギー付与とその単位

第3問 放射線の遮蔽に関する以下の問いに答えよ。

(1)  $\beta$ 線、 $\gamma$ 線及び中性子の遮蔽に関し、以下の①、②及び③についてそれぞれ解答せよ。

① エネルギーの高い $\beta$ 線の遮蔽に関し、一般的な遮蔽材の物質名（又は総称）を挙げるとともに、それらを使用した効果的な遮蔽方法について理由を付して説明せよ。

② (i)  $\gamma$ 線に適した一般的な遮蔽材の物質名（又は総称）を3種類挙げよ。

また、これらの材料が遮蔽に適している共通の理由を説明せよ。

(ii) アルミニウム等を $\gamma$ 線の遮蔽材に適用する場合の条件について説明せよ。

ただし、 $\gamma$ 線の光核反応が生じる高エネルギーの範囲は本問題の対象外とする。

③ 中性子の遮蔽に関し、中性子のエネルギー範囲が(i) 数[MeV]程度、(ii) 数百[keV]以下、(iii) 0.1 [eV] 程度以下の場合について、それぞれのエネルギー範囲毎に遮蔽の観点から主となる相互作用を1種類挙げ、当該相互作用に適した遮蔽材の特徴を説明するとともに、物質名（又は総称）2種類を挙げよ。解答は(i)～(iii)の番号を付して、それぞれ記載すること。

(2)  $^{60}\text{Co}$ からの $\gamma$ 線に対する鉄の半価層が2.0 [cm] のとき、 $1/10$  価層の厚さ [cm] について計算式を記載して有効数字二桁で求めよ。ただし、 $\ln 2 = 0.69$ 、 $\ln 10 = 2.3$  とし、散乱線は考慮しないこととする。

第4問 放射線防護のための量に関して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、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ーハ

(1) 外部被ばく線量の評価

放射線防護の量には、□①の発生を容認できないレベルより低く保ち、かつ□②の回避を確実にするために用いられる□③と、直接測定することはできない□③を適切に測定可能にする□④とがある。

□③では、放射線の種類に応じて特定の臓器・組織にわたって平均化した吸収線量に、放射線の□⑤とエネルギーによる生物学的影響の差を補正する□⑥を乗じた量を各臓器・組織の等価線量という。また、臓器・組織毎に異なる放射線に対する感受性を考慮した□⑦を各臓器・組織の等価線量に乗じて、その総和をとった量を実効線量という。□⑦の和は1になる。

□④には、サーベイメータやエリアモニタによる場のモニタリングのための□⑧と□⑨、個人線量計による個人のモニタリングのための「個人線量当量」がある。場のモニタリングの量のうち、□⑧は光子や中性子といった放射線を測定する量であり、□⑨は低エネルギー光子やβ線などの放射線を測定する量である。

「個人線量当量」は人体上に着用する個人線量計により測定するため、人体による散乱等を考慮した量である。□④として定義される量は、人体組織と等価な物質でできた仮想的な人体中において、表面からの深さ毎の線量当量として定義され、下表のように□③と関係づけられている。

□③	□④
実効線量	□⑩線量当量
眼の水晶体の等価線量	□⑩線量当量、□⑪線量当量、□⑫線量当量のうち、適切なもの
皮膚の等価線量	□⑫線量当量

(2) 内部被ばく線量の評価

内部被ばく線量の評価において、実効線量を直接に測定することはできない。体内に取り込まれた放射性核種は⑬及び⑭により減衰するが、体内に残留している間は臓器・組織を被ばくさせる。長期間にわたる被ばく管理を合理的に行うため、将来にわたる線量をすべて積分し、摂取後から⑮年間に全ての線量を受けたとする考え方を線量預託といい、内部被ばく管理では預託実効線量で取り扱うことが多い。

預託実効線量を測定により評価する場合、通常、⑯や⑰を用いる。⑯では、測定用途に応じて、プラスチックシンチレータや NaI (Tl) 検出器、Ge 半導体検出器と遮蔽体を組み合わせて測定を行う。他に、甲状腺の放射性ヨウ素の測定や肺の⑱などの測定を行う専用のモニタがある。⑰では、⑲線や⑳線を放出する核種に対して、対外に排出された尿や糞などを化学処理して放射能の測定を行う。

【選択肢】

- |             |             |                |
|-------------|-------------|----------------|
| ア. 3 ミリメートル | イ. 遺伝的影響    | ウ. 方向性線量当量     |
| エ. 物理的半減期   | オ. バイオアッセイ法 | カ. 種類          |
| キ. Pu       | ク. Cs       | ケ. 線質係数        |
| コ. $\beta$  | サ. 有効半減期    | シ. 実用量         |
| ス. 体外計測法    | セ. 組織加重係数   | ソ. 確率的影響       |
| タ. Sr       | チ. 10       | ツ. LD50        |
| テ. 校正定数     | ト. 実効的影響    | ナ. 1 センチメートル   |
| ニ. 放射線加重係数  | ヌ. 5        | ネ. Co          |
| ノ. 1        | ハ. 防護量      | ヒ. 中性子         |
| フ. 周辺線量当量   | ヘ. 5 ミリメートル | ホ. 70 マイクロメートル |
| マ. $\gamma$ | ミ. 生物学的半減期  | ム. 強度          |
| メ. 空气中濃度法   | モ. 確定的影響    | ヤ. $\alpha$    |

第5問 次の文章の□の部分に入る適正な語句を下欄から選択し番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には、同じ語句が入る。

〔解答例〕 ㉑－東京

放射性物質による表面汚染の測定方法には、物の表面を表面汚染測定用のサーベイメータの検出器を走査しながら測定する□①測定法（サーベイ法）と、一定の面積をろ紙でふき取り、そのろ紙面に付着した放射能を測定する□②測定法（スミヤ法）がある。□①測定法では、ふき取りが困難な□③性表面汚染と□④性表面汚染の両方を含めて測定できる。しかし、β線用サーベイメータを用いて□①測定をする場合において、物の内部にある放射性物質からの放射線、又は周囲の放射線レベルが高いと□⑤が高くなり、その検出限界値が□⑥なり、表面密度限度等の基準を満たす測定が困難となることがある。その際には、□②測定法により、放射線レベルの低い場所において、□④性表面汚染を測定することができる。

□②測定法では、ろ紙によるふき取りの面積は少なくとも□⑦ cm<sup>2</sup>又は汚染箇所全体とする。ふき取りの効率については、ふき取り材の種類、ふき取りの□⑧、ふき取り面積、表面汚染の□⑨、表面の多孔性、化学組成、□⑩及び清浄の程度等から影響を受けるが、実験的評価がない場合であれば、□⑪（%）が用いられる。

これらのサーベイメータの測定においては、時定数の□⑫倍の時間（95%指示値相当）をかけてから指示値を読み取ると良い。

α線の測定には、□⑬の検出器が用いられ、β線の測定には、□⑭又は□⑮の検出器が用いられ、γ線の測定には、□⑯の検出器が用いられる。また、<sup>3</sup>H、<sup>14</sup>Cなどのエネルギーの低いβ線放出核種を含む物質をふき取った湿式のろ紙の測定については、□⑰が用いられる。

一般的に□④性表面汚染は、部屋の□⑱、作業者の□⑲等により、空気汚染の原因ともなり、空気汚染 (Bq/cm<sup>3</sup>) = K (cm<sup>-1</sup>) × 表面汚染 (Bq/cm<sup>2</sup>) の関係となる。ここでKは、床等の表面に沈着した放射性物質が空气中に□⑳する割合を示している。

【選択肢】

・直接	・間接	・遊離	・固定	・遮蔽
・吸収	・破壊	・非破壊	・大きく	・小さく
・分布	・圧力	・光	・換気	・揮発
・閉じ込め	・校正	・レスポンス	・安全	・捕集
・平滑	・凹凸	・再浮遊	・歩行	・放出率
・エネルギー	・散乱	・入射	・方向	・距離
・バッググラウンド 計数	・正味計数	・GM 計数管	・コールドトラ ップ	・熱蛍光線量計
・ZnS (Ag) シ ンチレーシ ョン	・プラスチック式 シンチレーシ ョン	・NaI (Tl) シン チレーション	・液体シンチレ ーション計数 装置	・蛍光ガラス線 量計
・1	・3	・5	・7	・10
・30	・50	・70	・100	・1000

第6問 以下の問いに答えよ。

- (1) 分解時間（不感時間） $0.2 \text{ m s}$  の GM 計数管を用いて計数するとき、数え落としによる誤差が 10% に最も近くなる計数率 ( $\text{s}^{-1}$ ) はどれか、以下より選べ。
- ① 200      ② 300      ③ 500      ④ 1000      ⑤ 2000
- (2) 放射線計測装置を用いて線源を 1 分間測定したところ、6000 カウント得られた。次に線源を除いて 2 分間バックグラウンド計数率を測定したところ、1600 カウントであった。この線源の正味計数率と標準偏差を求めよ。
- (3)  $1000 \text{ MBq}$  の  $^{137}\text{Cs}$  線源について、60 年経過した時の放射能 ( $\text{MBq}$ ) を求めよ。なお、 $^{137}\text{Cs}$  の半減期については整数（有効数字二桁）とする。
- (4) 毎秒  $3 \times 10^9$  個の中性を放出する点線源があり、そこから 5 m 離れたところの中性子のフルエンス率を求めよ。また、単位について記載せよ。

【メモ】

