

## 第 60 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30年3月16日

第1問 次の用語について簡潔に説明せよ。

- (1) 生物学的効果比
- (2) 肺モニタ
- (3) 制動 X 線
- (4) 預託実効線量
- (5) O I L (Operational Intervention Level)

第2問  $^{60}\text{Co}$   $3.7 \times 10^{13}\text{Bq}$  を  $100\text{cm}$  の厚さのコンクリート遮蔽壁で等方的に覆った場合の遮蔽壁外側の実効線量率を計算したい。 $^{60}\text{Co}$  は1壊変あたり  $1.173\text{MeV}$  と  $1.333\text{MeV}$  の $\gamma$ 線を放出するものとする。設置状況は図1のとおりである。

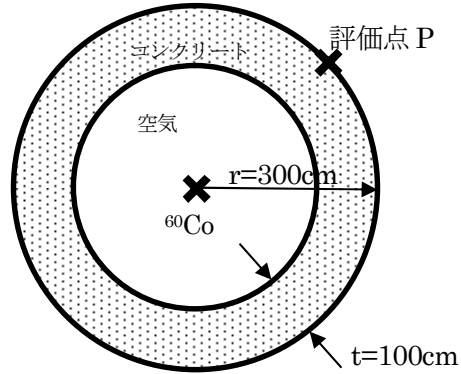


図1

- (1)  $^{60}\text{Co}$  点線源の  $1\text{m}$  の距離における実効線量率定数  $0.305 [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}]$ 、厚さ  $100\text{cm}$  のコンクリートの実効線量透過率  $1.52 \times 10^{-4}$  を用いて、評価点 P における実効線量率を求めよ。
- (2) 以下の数値を用いて、評価点 P における実効線量率を求めよ。

$\gamma$ 線エネルギー [MeV]	実効線量換算係数 [pSv · cm <sup>2</sup> ]	100cm 厚さコンクリートの 実効線量透過率
1.173	5.043	$1.035 \times 10^{-4}$
1.333	5.544	$1.823 \times 10^{-4}$

第3問 放射性表面汚染の測定に関する次の文章中の□に入る適切な式、語句又は数値を、選択肢から選び、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〕(11) - ①

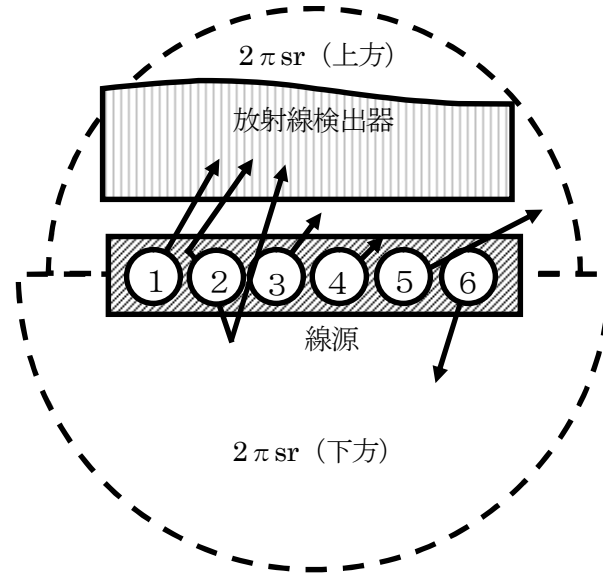


図2

図2は、放射性表面汚染の測定に関する線源と放射線検出器の相関図である。放射性表面汚染の測定においては、線源からの放射線と検出器との関係について次のように分類できる。

- タイプ1：検出器に直接入射する粒子
- タイプ2：散乱によって検出器に入射する粒子
- タイプ3：線源から検出器側の立体角  $2\pi sr$  の方向に放出されるが、空気の吸収によって検出器まで到達しない粒子
- タイプ4：検出器側の立体角  $2\pi sr$  の方向に放射されるが、自己吸収で線源から放出されない粒子
- タイプ5：線源から検出器側の立体角  $2\pi sr$  の方向に放出されるが、幾何学的条件から検出器に入射しない粒子
- タイプ6：検出器と反対側の立体角  $2\pi sr$  の方向に放射されるすべての粒子。タイプ2以外の後方散乱粒子を含む。

なお、 $q_1 \sim q_6$  は各タイプの放射線の生成率を示す。この場合、線源の放射能  $A$  は、 $A = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$  で定義されるとする。また、線源の表面放出率  $q_{2\pi}$  は、□(1) で定義される。したがって、線源の線源効率  $\epsilon_s$  は、 $\epsilon_s = q_{2\pi} / A$  で定義される。理想的な標準線源の  $\epsilon_s$  は □(2) であるが、通常は □(2) より小さい。自己吸収と後方散乱との関係から □(2) より大きくなる場合もある。後方散乱の影響は、一般には、 $\beta$  線と  $\alpha$  線では □(3) の方が影響は大きく、金属とプラスチックでは □(4) の方が大きい。JIS Z4504 によると、 $\alpha$  線源の  $\epsilon_s$  の推奨値は

(5) である。

一方、線源に対して決められた幾何学的条件で測定した時の検出器の正味計数率  $N$  と線源の表面放出率との比は機器効率  $\varepsilon_i$  と定義されており、 $\varepsilon_i =$  (6) である。

以上より、放射能  $A$  に対するレスポンス  $R = N/A$  は、線源効率  $\varepsilon_s$  と機器効率  $\varepsilon_i$  を用いて、 $R =$  (7) と表すことができる。

表面汚染密度  $A_s$  は次のように計算する。

直接測定法の場合は次の式による。ただし、この場合  $\varepsilon_s$  は放射性表面汚染の線源効率とする。また、汚染面積は放射線検出器の有効窓面積  $W$  と同等又は広いものとし、有効窓面積における表面汚染密度は均一とみなす。

$$A_s = \text{(8)}$$

間接測定法の場合は次の式による。ただし、この場合  $\varepsilon_s$  は拭き取り試料の線源効率とし、拭き取り効率を  $F$ 、拭き取り面積を  $S$  とする。

$$A_s = \text{(9)}$$

ふき取り効率  $F$  は、実験的評価がある場合にはその値を、実験的評価がない場合には安全を考慮して (10) を用いるべきである。

**【選択肢】**

- |      |  |  |  |   |
|------|--|--|--|---|
| (1)  | ① $q_1+q_2+q_3$  | ② $q_1+q_2+q_3+q_4$  | ③ $q_1+q_2+q_3+q_5$                    | ④ $q_1+q_2+q_3+q_5+q_6$                 |
| (2)  | ① 0.1  | ② 0.5  | ③ 1                                    | ④ 2                                     |
| (3)  | ① $\alpha$ 線   | ② $\beta$ 線  |  |   |
| (4)  | ① 金属   | ② プラスチック   |  |   |
| (5)  | ① 0.1  | ② 0.25   | ③ 0.5                                  | ④ 1                                     |
| (6)  | ① $N/q_{2\pi}$   | ② $N/A$  | ③ $N/q_1$                              | ④ $N/(q_1+q_2)$                         |
| (7)  | ① $\varepsilon_s/\varepsilon_i$                                | ② $\varepsilon_s/2\varepsilon_i$                               | ③ $\varepsilon_s \times \varepsilon_i$ | ④ $\varepsilon_s \times 2\varepsilon_i$ |
| (8)  | ① $N \times W / \varepsilon_s$                                 | ② $N / (W \times \varepsilon_s \times \varepsilon_i)$          |  |   |
|      | ③ $N \times \varepsilon_s \times \varepsilon_i / W$            | ④ $N / (W \times \varepsilon_s)$                               |  |   |
| (9)  | ① $N \times S / (\varepsilon_s \times F)$                      | ② $N \times F / (S \times \varepsilon_s \times \varepsilon_i)$ |  |   |
|      | ③ $N \times \varepsilon_s \times \varepsilon_i / (F \times S)$ | ④ $N / (F \times S \times \varepsilon_s \times \varepsilon_i)$ |  |   |
| (10) | ① 0.01   | ② 0.1  | ③ 1                                    | ④ 10                                    |

第4問 次の問について答えよ。

(1) 呼吸用保護具（全面マスク）を着用して放射線作業を実施していた作業者の、作業中に摂取したと推定される $^{137}\text{Cs}$ について計算で摂取量を求める。作業中は、作業環境の空气中放射能濃度を移動型モニタで測定を実施していた。

次の条件を使って作業者が吸入した摂取量（推定）（I）について計算過程を示して回答せよ。

- ・空气中放射能濃度（C）：平均濃度で $^{137}\text{Cs}$ ：1000（ $\text{Bq}/\text{cm}^3$ ）
- ・作業時間（t）：90（min）
- ・作業者の呼吸量（B）：0.02（ $\text{m}^3/\text{min}$ ）
- ・呼吸域に対するモニタ設置場所における濃度比（F）：10
- ・全面マスクの防護係数（P）：50
- ・吸入した $^{137}\text{Cs}$ は全て体内にとどまるものとする。

(2) 放射線業務従事者が74 MBqの非密封線源を扱っていた。この時、個人線量計に3 mSvの $\beta$ 線による被ばく線量が測定された。線源から胸部の個人線量計着用位置までの距離は50 cmであった。放射線業務従事者がこの被ばく線量を受けた延べ作業時間を、計算の過程を示して答えよ。ただし、1壊変当たり1個の $\beta$ 線を放出すると仮定し、この $\beta$ 線に対する人体の阻止能は0.2（ $\text{MeV} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^2$ ）、 $1\text{MeV} = 1.6 \times 10^{-13}$ （J）、放射線荷重係数を1とする。また、 $\beta$ 線は線源による自己吸収及び空気中における減衰を考慮しないものとする。

第5問 次の文章中の□に入る適切な語句又は数値を選択肢から選び、対応する番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には同じ語句又は数値が入る。

〔解答例〕 ②－東京

放射線被ばくによる健康影響は、放射線防護の観点から次の二つに大別される。

①には、②があり、特異的に感受性が高い③を除いて、②を超える被ばくがない限り発症することはない。

他方、④は、低線量域の影響が明確でないため、線量がゼロでない限り⑤（⑥の発生率の程度）はゼロではないと放射線防護体系ではみなしている。具体的には、⑥と⑦が④と考えられており、それ以外はすべて①に分類される。

①のうち、最も低い線量で生じる可能性があるのは、⑧に伴う⑨と、⑩の被ばくによる⑪の発生であり、いずれも、②は⑫mGy程度と推定されている。全身症状につながる最初に現れる影響としては⑬を伴う⑭の機能低下であり、全身被ばくによる②は短時間の被ばくで⑮mGy程度である。

④の一つである⑥については、広島・長崎の原爆被爆生存者をはじめとして、様々な⑯に対する⑰が行われている。多くの調査において、⑱とともに⑲が⑳することが確認されているが、およそ100 mSv以下の、いわゆる低線量における影響の有無については、現在の科学的知見からは明確になっていない。

【選択肢】

倍加線量、個人、集団、重篤度、潜伏期間、線量率、罹患率・死亡率、年齢、早期影響、晩発影響、遺伝的影響、身体的影響、確定的影響、確率的影響、放射線誘発白内障、永久不妊、造血系、一時的な不妊、妊娠初期、妊娠中期、妊娠後期、線量、消化器系、胚死亡・奇形、精神発達遅滞、リンパ球減少、赤血球減少、血小板減少、がん、悪心、嘔吐、中枢神経系、腸管上皮細胞剥離、下痢、脱毛、男性の精子数低下、女性の卵母細胞数低下、初期紅斑、毛細血管拡張、疫学調査、半致死線量、しきい線量、長い、短い、増加、減少、ホルミシス、ラジカルスカベンジャー、リスク、0.1、0.5、1、5、10、50、100、500、1000

第6問 ガス入り検出器の電極に印加する電圧を変化させたときの $\alpha$ 線（4MeV）及び $\beta$ 線（1MeV）のパルス波高（相対値）の関係を表す図3（グラフ）より、次の問について答えよ。

(1) 図（グラフ）中に示す各領域名称、①から⑤を解答せよ。

〔解答例〕 ⑥—東京

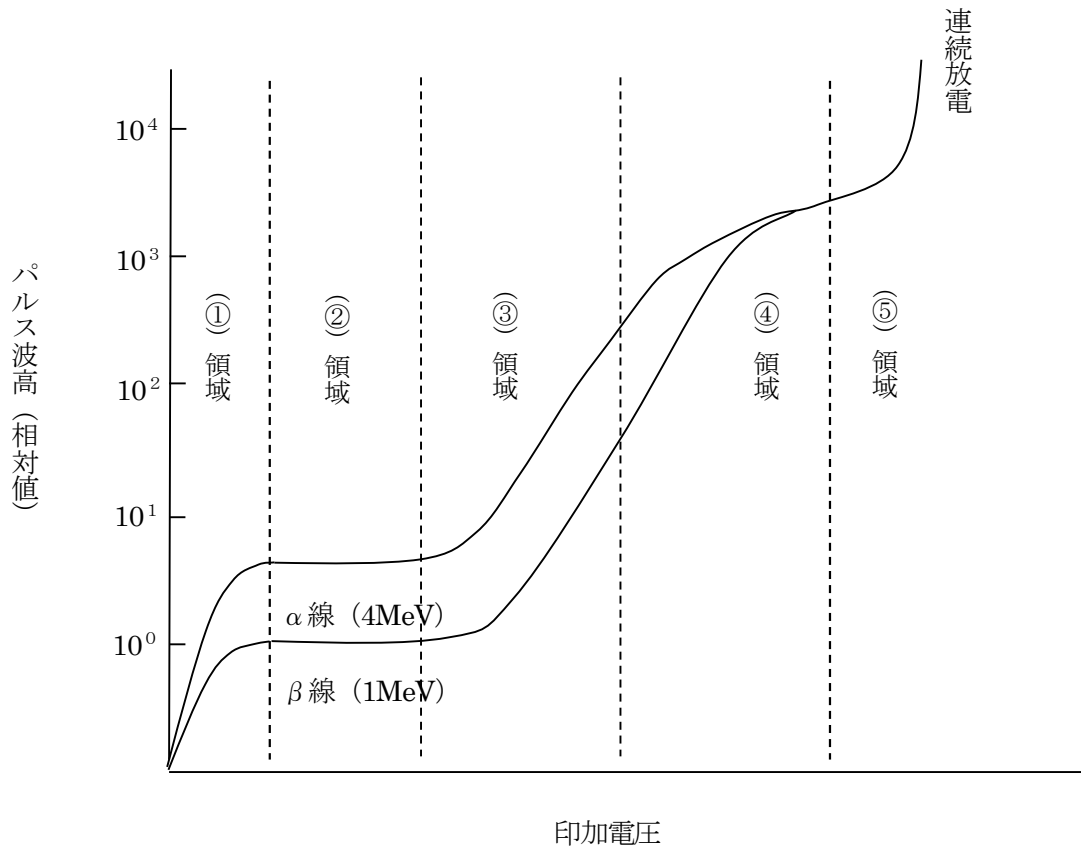


図3 ガス入り検出器のパルス波高値と印加電圧

(2) (1)で解答した①から⑤の各領域について、その特徴を簡潔に説明せよ。