

第 56 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 26 年 3 月 14 日

第1問 放射線測定及び放射線障害の防止に関する次の用語について、簡潔に説明せよ。

- (1) 防護量と実用量
- (2) ふき取り効率
- (3) 固体飛跡検出器
- (4) 実効半減期
- (5) 防護の最適化

第2問 放射線測定における測定値の不確かさに関する以下の問いに答えよ。

- (1) 以下の文章の□□□□に入る適切な語句を下記イ～ラから選び、対応する記号を番号と共に記せ。なお、同じ番号の□□□□には同じ語句が入る。

[解答例] ⑧ーム

放射性核種の壊変は、□①□に起きる事象である。このような壊変に伴って放出される放射線も□①□に検出器に入射して計測される。したがって半減期による減衰が無視でき、線源からの放射線を一定の計数時間 (t) で繰り返し測定する場合、計数率 (n) は□②□分布と呼ばれる確率分布に従う。計数率が大きくなると、この確率分布は、次式で表される□③□分布 w(n) に近似できる。

$$w(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(m-n)^2}{2\sigma^2}}$$

この式中、 σ^2 は□④□、また、m は□⑤□を表し、 $\sigma = \square⑥\square$ の関係がある。このとき、得られた計数率 (n) の値が $m-2\sigma$ から $m+2\sigma$ の間に入る割合は、約□⑦□%となる。

- | | | | |
|--------------|----------------|-------|---------|
| イ 真値 | ロ 期待値 | ハ 最小値 | ニ 最大値 |
| ホ 偶発的 | ヘ 周期的 | ト 定常的 | チ 分散 |
| リ 半値幅 | ヌ 誤差 | ル ガウス | ヲ ポアソン |
| ワ フェルミ | カ 対数正規 | ヨ 87 | タ 90 |
| レ 95 | ソ 98 | ツ m | ネ m^2 |
| ナ \sqrt{m} | ラ \sqrt{m}/t | | |

- (2) 測定試料及びバックグラウンド試料の計数をそれぞれ N_s 、 N_b 、各測定時間を t_s 、 t_b とするとき、正味の計数率 n 及びその標準偏差 σ をそれぞれ式で示せ。なお、計数率は十分に大きいものとする。

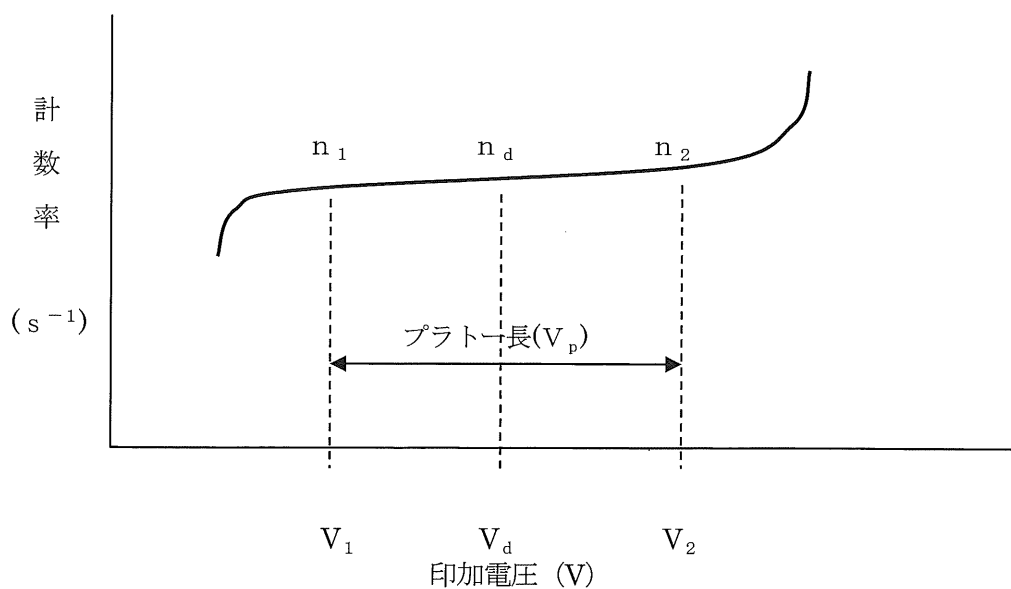
[解答例] $A = 4\pi r^2$

第3問 放射線測定技術に関する次の問いに答えよ。

- (1) γ 線のエネルギー分析装置を遮蔽体で覆い、バックグラウンド計数を低減することにした。遮蔽体は10cmの鉛で構成し、その内面に銅、さらにアクリルの内張りをした。銅とアクリルの内張りのそれぞれの目的について説明せよ。
- (2) NaI(Tl)シンチレータは、銅やアルミニウム、ステンレス等の薄い金属の容器に封入して使われる。また、必要に応じてアクリルのカバーをかける。封入容器の役割と、アクリルカバーの役割について説明せよ。
- (3) 液体シンチレータでトリチウムの測定を行う際には、試料調整後、冷暗所に一昼夜放置した後に測定する。冷暗所に一昼夜放置する目的について説明せよ。

第4問 ガイガー・ミュラー (GM) 計数管を用いた β 線ダストモニタについて以下の問いに答えよ。

- (1) 使用するGM計数管について、以下のようなプラトー特性図が得られた。この場合、プラトー傾斜 ($\%/100V$) を示す式を図中の記号を用いて示せ。



ここで、 V_1 : プラトー開始電圧 (V)

V_2 : プラトー終端電圧 (V)

V_d : 定格使用電圧 (V)

V_p : プラトー長 (V)

n_1 : プラトー開始電圧での計数率 (s^{-1})

n_2 : プラトー終端電圧での計数率 (s^{-1})

n_d : 定格使用電圧における計数率 (s^{-1})

- (2) プラトー領域に使用電圧を設定することの測定上の利点を述べよ。
- (3) 次に検出部の計数効率を求めるために、ダスト用β線標準線源（表面放出率： $3 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$ 、線源効率 0.5）をダストモニタのフィルタ位置に置き計数率を測定したところ、 $4.0 \times 10^1 \text{ s}^{-1}$ の値が得られた。バックグラウンド（BG）計数率が $3 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ であるとき、この検出部の機器効率（%）及び計数効率（%）を、計算式を示して答えよ。
- (4) このダストモニタを用いて、ダストモニタリングを行ったところ、1時間のモニタリングによりダストモニタの指示値が $2 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$ 上昇した。このときの平均空气中放射能濃度（ Bq/cm^3 ）を計算式を示して答えよ。なお、空気捕集流量率を 100 リットル/min、使用したフィルタの捕集効率を 90%、この間の BG 計数率は変化しないものとし、また、捕集放射能の減衰及びフィルタの自己吸収は無視できるものとする。

第5問 ^{137}Cs $3.7 \times 10^{13} \text{ Bq}$ (37TBq) を取り扱う半径 5 m の空間を厚さ 100cm のコンクリートで遮蔽する場合に遮蔽壁外側を評価点として、そこの実効線量率について以下のように計算を行った。空欄を埋めよ。ただし、 ^{137}Cs は放射平衡状態にあり、1壊変あたり放出されるγ線はそれぞれ、0.662MeV (0.851), 0.0322MeV (0.056), 0.0364MeV (0.013) [ただし () 内は放出割合] とする。円周率は 3.14 とし、計算結果は有効数字 2 桁で記せ。

[解答例] ①-3.14

任意の核種の実効線量率定数 $\Gamma_E [\mu\text{Sv m}^2 \text{ MBq}^{-1} \text{ h}^{-1}]$ は、一般に以下の式により求めることができる。

$$\Gamma_E = \sum_i \left(\frac{10^6}{4\pi(100)^2} \times \varepsilon(e_i) \times (E/\phi)_i \times 10^{-6} \times 3600 \right)$$

$\varepsilon(e_i)$: エネルギー e_i の γ 線の放出割合

$(E/\phi)_i$: エネルギー e_i の単位光子フルエンスに対する実効線量 [pSv cm^2]

各 γ 線に対する $(E/\phi)_i$ は、表 1 の値から誘導する。内挿は線形補間で行う。

$e_i [\text{MeV}]$	①	0.0322	0.0364	②	③	0.662	④
$(E/\phi)_i [\text{pSv cm}^2]$	⑤	-	-	⑥	⑦	-	⑧
$(E/\phi)_i$ の内挿値 [pSv cm^2]	-	⑨	⑩	-	-	⑪	-

したがって、 ^{137}Cs の実効線量率定数は、

$$\Gamma_E = \left(\frac{10^6}{4\pi(100)^2} \times 10^{-6} \times 3600 \right) \times \left(\text{⑫} \times \text{⑨} + \text{⑬} \times \text{⑩} + \text{⑭} \times \text{⑪} \right)$$

$$= \text{⑮} [\mu\text{Sv m}^2 \text{ MBq}^{-1} \text{ h}^{-1}]$$

線源強度を $S[\text{MBq}]$ として、遮蔽壁が無いと仮定した場合の評価点での実効線量率 \dot{E}_0 は、

$$\dot{E}_0 = \text{⑬} [\mu\text{Sv h}^{-1}]$$

表 2 から実効線量透過率に ⑭ を適用すると、遮蔽壁の効果を含めた評価点での実効線量率 \dot{E} は、

$$\dot{E} = \text{⑮} [\mu\text{Sv h}^{-1}]$$

表 1 光子のフルエンス Φ から空気カーマ率 K_a 及び実効線量 E への換算係数

照射条件 AP			
光子エネルギー [MeV]	K_a/Φ [pGy·cm ²]	E/K_a [Sv·Gy ⁻¹]	E/Φ [pSv·cm ²]
0.01	7.43	0.00653	0.0485
0.02	1.68	0.122	0.205
0.03	0.721	0.416	0.300
0.04	0.429	0.788	0.338
0.05	0.323	1.106	0.357
0.06	0.289	1.308	0.378
0.08	0.307	1.433	0.440
0.1	0.371	1.394	0.517
0.2	0.856	1.173	1.00
0.3	1.38	1.093	1.51
0.4	1.89	1.056	2.00
0.5	2.38	1.036	2.47
0.6	2.84	1.024	2.91
0.8	3.69	1.010	3.73
1	4.47	1.003	4.48
2	7.55	0.992	7.49
3	9.96		
4	12.1	0.993	12.0
5	14.1		

表 2 ¹³⁷Cs の実効線量透過率 (ただし、放射平衡にある子孫核種の影響を含む)

厚さ [cm]	鉄	厚さ [cm]	鉛	厚さ [cm]	コンクリート	厚さ [cm]	水
0	1.00	0	1.00	0	1.00	0	1.00
0.5	9.34×10^{-1}	0.5	6.50×10^{-1}	5	8.69×10^{-1}	10	9.20×10^{-1}
1	8.58×10^{-1}	1	4.05×10^{-1}	10	6.36×10^{-1}	20	6.99×10^{-1}
2	6.78×10^{-1}	2	1.46×10^{-1}	20	2.55×10^{-1}	40	2.87×10^{-1}
5	2.48×10^{-1}	3	5.03×10^{-2}	30	8.40×10^{-2}	60	9.36×10^{-2}
8	7.29×10^{-2}	4	1.69×10^{-2}	40	2.48×10^{-2}	80	2.68×10^{-2}
10	3.02×10^{-2}	5	5.56×10^{-3}	50	6.85×10^{-3}	100	7.06×10^{-3}
12	1.21×10^{-2}	6	1.81×10^{-3}	60	1.80×10^{-3}	120	1.75×10^{-3}
14	4.75×10^{-3}	7	5.86×10^{-4}	70	4.55×10^{-4}	140	4.15×10^{-4}
16	1.82×10^{-3}	8	1.88×10^{-4}	80	1.12×10^{-4}	160	9.49×10^{-5}
20	2.56×10^{-4}	9	6.02×10^{-5}	90	2.68×10^{-5}	180	2.11×10^{-5}
22	9.43×10^{-5}	10	1.92×10^{-5}	100	6.30×10^{-6}	200	4.60×10^{-6}
26	1.25×10^{-5}	11	6.09×10^{-6}	110	1.46×10^{-6}	220	9.85×10^{-7}
30	1.59×10^{-6}	12	1.93×10^{-6}	120	3.33×10^{-7}	240	2.08×10^{-7}

第6問 次の文章中の〔①〕から〔⑳〕に入れるべき最も適切な語句又は数値を下欄から1つだけ
選択し、対応する番号と共に記せ。なお、同じ番号の〔 〕には同じ語句又は数値が入る。

〔解答例〕 ㉑－東京

人体内へ放射性核種が入る主な経路には、〔①〕、〔②〕及び〔③〕の3種類がある。食物や飲料水に混入した放射性核種が〔①〕されると、消化管で吸収され〔④〕へ移行するが、吸収率はその物理化学的特性に依存する。放射性核種が水や有機物を構成するもの、あるいはナトリウムやカリウムのような1価の金属と塩素やヨウ素のようなハロゲンとの塩などを構成するものは一般的に消化管吸収率が〔⑤〕が、〔⑥〕や〔⑦〕のようなアクチノイド元素の場合一般にきわめて〔⑧〕。〔④〕に入った放射性核種は、その化学的性質にしたがって特有の体内組織（親和性臓器）に移行し、そこに沈着する。例えば、〔⑨〕や〔⑩〕などは全身にほぼ均等に分布沈着し、〔⑪〕や〔⑫〕は骨に、〔⑬〕は甲状腺に沈着する。臓器や組織に沈着した放射性核種の排泄速度は通常、〔⑭〕により表され、セシウム137及びストロンチウム90の〔⑭〕は、成人でそれぞれ〔⑮〕及び〔⑯〕である。

〔②〕による場合には、放射性物質は〔⑰〕に沈着するが、その様相は放射性物質の〔⑱〕に大きく依存する。〔⑰〕に沈着した放射性物質は、それが体内移行性（吸収率）の高いものであれば〔①〕とほぼ同様な挙動をとる。しかし、例えば酸化プルトニウムのように体液中に溶解しにくいものは〔⑲〕あるいは〔⑲〕の〔⑳〕に長期に滞留するなど、〔②〕特有の体内挙動を示す。

- | |
|---|
| ・吸入摂取 ・ヨウ素 ・カルシウム ・トリウム ・トリチウム ・ストロンチウム |
| ・プルトニウム ・セシウム ・実効半減期 ・等価線量 ・粒子濃度 ・リンパ節 |
| ・経皮吸収 ・約7日 ・約30日 ・約100日 ・約50年 ・肺 ・経口摂取 |
| ・組織荷重係数 ・生物学的半減期 ・粒子径 ・体内動態モデル ・呼吸気道 |
| ・クリアランスモデル・胃腸管 ・腎臓 ・肝臓 ・筋肉 ・血液中 ・高い ・低い |