

平成30年度 放射線取扱主任者試験

正 誤 表

試験日 試験区分	平成30年8月23日(木)
	1時限目 (10:00~11:45)
	第1種
課 目	管理測定技術
板書事項	<p>9ページ 問3 III</p> <p>&lt; Lの解答群 &gt;</p> <p>(誤) 4 BF<sub>3</sub>比例計数管式サーベイメータ</p> <p>(正) 4 BF<sub>3</sub>比例計数管</p> <p>13ページ 問5 II</p> <p>問題文 2行目</p> <p>(誤) . . . 放射性物質および<u>空中</u>のラドン . . .</p> <p>(正) . . . 放射性物質および<u>空気中</u>のラドン . . .</p>

## 管理測定技術

放射性同位元素及び放射線発生装置による放射線障害の防止に関する管理技術並びに放射線の測定技術に関する課目（規則別表第二に掲げる課目第二号、第三号及び第四号を含む）

試験が始まる前に、このページの記載事項をよく読んでください。裏面以降の試験問題は、指示があるまで見てはいけません。

1 試験時間：10:00～11:45（1時間45分）

2 問題数：6題（17ページ）

3 注意事項：

- ① 机の上に出してよいものは、受験票、鉛筆又はシャープペンシル（HB又はB）、鉛筆削り、消しゴム、時計（計算機能・通信機能・辞書機能等の付いた時計は不可）に限ります。
- ② 計算機（電卓）、定規及び下敷きの使用は認めません。
- ③ 不正行為等を防止するため、携帯電話等の通信機器は、必ず、電源を切ってカバン等の中に入れてください。
- ④ 問題用紙の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁又は解答用紙の汚れなどに気付いた場合は、手を挙げて試験監督員に知らせてください。なお、試験問題の内容に関する質問にはお答えできません。
- ⑤ 試験終了の合図があったら、ただちに筆記用具を置いてください。  
なお、試験監督員が解答用紙を集め終わるまで、席を離れてはいけません。
- ⑥ 問題用紙は持ち帰って結構です。
- ⑦ 不正行為を行った者は、受験資格を失ったものとみなし、試験室からの退出を命じます。また、試験終了後に不正行為を行ったことが発覚した場合、試験実施時にさかのぼり受験資格を失ったものとみなします。

4 解答用紙（マークシート）の取扱いについて：

- ① 解答用紙を折り曲げたり汚したりしないでください。また、所定の欄以外の余白には、何も記入しないでください。
- ② 筆記用具は、鉛筆又はシャープペンシル（HB又はB）を使用してください。また、記入を訂正する場合は、消しゴムできれいに消してください。
- ③ 解答用紙の所定の欄に氏名・受験地・受験番号を忘れずに記入してください。特に、受験番号は受験票と照合して間違えないよう記入してください。
- ④ 解答は、所定の欄に1つだけ選択（マーク）してください。2つ以上選択している場合は、採点されません。

問1 次のI、IIの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

I 中性子線は□A□放射線で、物質中の□B□と核反応を起こし、電離作用を持つ□C□を生成することができる。物質中で核反応を引き起こす確率のことを□D□と呼び、b(バーン)という特別な単位がよく用いられる。なお、SI単位とは1b=□ア□の関係にある。この□D□は、中性子遮蔽計算、中性子測定器の応答解析等に必要な基礎データであり、様々な核反応について、実験値や理論計算値等を用いて、ENDF B-VIIやJENDL-4.0等の評価済み核データライブラリが整備されている。

□E□である ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ 反応や□F□反応の□D□は、エネルギーが低い熱中性子に対して大きくなる。このため、中性子線の計測では、熱中性子による ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ 反応や□F□反応で生成された□C□による検出器内での電離作用を利用する方法がよく用いられる。これらの核反応を用いてエネルギーが高い中性子を感度良く測定するためには、□G□を用いて熱化させる必要がある。□G□としては、□H□の原子核との□I□を利用して最も効率よく中性子を熱化させるために、ポリエチレンなどの□H□が多く含まれる物質がよく利用される。

<A~Dの解答群>

- |          |        |          |           |
|----------|--------|----------|-----------|
| 1 荷電粒子   | 2 電子   | 3 光子     | 4 電荷を持たない |
| 5 電荷を持つ  | 6 軌道電子 | 7 オージェ電子 | 8 原子核     |
| 9 核反応断面積 | 10 放射化 | 11 衝突阻止能 |           |

<アの解答群>

- |   |                                      |   |
|---|--------------------------------------|---|
| 1 $1.6 \times 10^{-19} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  | 2 $1.6 \times 10^{-19} \text{ m}^2$  | 3 $1.6 \times 10^{-19} \text{ s}^{-1}$  |
| 4 $1 \times 10^{-24} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$    | 5 $1 \times 10^{-24} \text{ m}^2$    | 6 $1 \times 10^{-24} \text{ s}^{-1}$    |
| 7 $1 \times 10^{-28} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$    | 8 $1 \times 10^{-28} \text{ m}^2$    | 9 $1 \times 10^{-28} \text{ s}^{-1}$    |
| 10 $1.6 \times 10^{-31} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ | 11 $1.6 \times 10^{-31} \text{ m}^2$ | 12 $1.6 \times 10^{-31} \text{ s}^{-1}$ |

<E~Iの解答群>

- |   |  |   |
|---|--|---|
| 1 弾性散乱                                      | 2 コンプトン散乱                              | 3 ラザフォード散乱                                  |
| 4 ${}^{11}\text{B}(n, \alpha){}^8\text{Li}$ | 5 ${}^{10}\text{B}(n, d){}^9\text{Be}$ | 6 ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ |
| 7 吸熱反応                                      | 8 発熱反応                                 | 9 捕獲反応                                      |
| 10 水素                                       | 11 炭素                                  | 12 酸素                                       |
| 13 増殖材                                      | 14 吸収材                                 | 15 減速材                                      |

II 中性子線が存在する放射線管理の現場では、BF<sub>3</sub>比例計数管や<sup>3</sup>He比例計数管等の中性子検出器の周りをポリエチレンやパラフィン等で覆った中性子線量当量（率）計が用いられる。この線量当量（率）計は、広いエネルギー範囲において中性子の周辺線量当量に対する測定器のレスポンスが一定に近づくように構造が工夫されており、中性子のエネルギー Spektrum によらず周辺線量当量率を直読できるという大きな特徴を有している。この中性子線量当量（率）計に対して、出力される計数と周辺線量当量を関連付けるために、点状線源とみなせる<sup>252</sup>Cf 中性子線源を用いて校正を行った。校正日における線源からの中性子放出率を $4.0 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ 、線源から中性子線量当量（率）計の実効中心までの距離を75 cmとすると、実効中心での1秒当たりの中性子フルエンス率は   $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となる。<sup>252</sup>Cf 線源から放出される中性子の中性子フルエンスを周辺線量当量に換算するための係数を $385 \text{ pSv} \cdot \text{cm}^2$ とすると、実効中心での1時間当たりの周辺線量当量率は   $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ となる。

<sup>252</sup>Cf 線源を設置する前に中性子線量当量（率）計で得られる計数は、1時間で576カウントであった。このときのバックグラウンド計数率は   $\text{s}^{-1}$ となり、その標準偏差は   $\text{s}^{-1}$ となる。次に、<sup>252</sup>Cf 線源を設置して測定したところ、1分間で2,601カウントが得られた。この時のバックグラウンドを差し引いた正味の計数率は、   $\text{s}^{-1}$ となり、その標準偏差は   $\text{s}^{-1}$ となる。この結果から、中性子線量当量（率）計で得られる計数を周辺線量当量に換算するための1カウント当たりの換算係数は   $\mu\text{Sv}$ となり、その標準偏差は   $\mu\text{Sv}$ となる。

<イ、ウの解答群>

- |   |                      |    |                      |   |                      |   |                   |
|---|----------------------|----|----------------------|---|----------------------|---|-------------------|
| 1 | $2.2 \times 10^{-2}$ | 2  | $7.8 \times 10^{-2}$ | 3 | $7.1 \times 10^{-1}$ | 4 | $2.2 \times 10^0$ |
| 5 | $5.7 \times 10^1$    | 6  | $7.8 \times 10^1$    | 7 | $9.9 \times 10^1$    | 8 | $5.7 \times 10^2$ |
| 9 | $7.1 \times 10^2$    | 10 | $9.9 \times 10^2$    |   |                      |   |                   |

<エの解答群>

- |   |                      |   |                      |   |                      |   |                      |
|---|----------------------|---|----------------------|---|----------------------|---|----------------------|
| 1 | $1.6 \times 10^{-2}$ | 2 | $5.6 \times 10^{-2}$ | 3 | $9.6 \times 10^{-2}$ | 4 | $1.6 \times 10^{-1}$ |
| 5 | $5.6 \times 10^{-1}$ | 6 | $9.6 \times 10^{-1}$ | 7 | $1.6 \times 10^0$    | 8 | $5.6 \times 10^0$    |
| 9 | $9.6 \times 10^0$    |   |                      |   |                      |   |                      |

<オの解答群>

- |   |                      |   |                      |   |                      |   |                      |
|---|----------------------|---|----------------------|---|----------------------|---|----------------------|
| 1 | $4.0 \times 10^{-3}$ | 2 | $6.7 \times 10^{-3}$ | 3 | $8.5 \times 10^{-3}$ | 4 | $4.0 \times 10^{-2}$ |
| 5 | $6.7 \times 10^{-2}$ | 6 | $8.5 \times 10^{-2}$ | 7 | $4.0 \times 10^{-1}$ | 8 | $6.7 \times 10^{-1}$ |
| 9 | $8.5 \times 10^{-1}$ |   |                      |   |                      |   |                      |

<カの解答群>

- |   |                      |   |                      |   |                      |   |                   |
|---|----------------------|---|----------------------|---|----------------------|---|-------------------|
| 1 | $3.4 \times 10^{-1}$ | 2 | $4.3 \times 10^{-1}$ | 3 | $5.6 \times 10^{-1}$ | 4 | $3.4 \times 10^0$ |
| 5 | $4.3 \times 10^0$    | 6 | $5.6 \times 10^0$    | 7 | $3.4 \times 10^1$    | 8 | $4.3 \times 10^1$ |
| 9 | $5.6 \times 10^1$    |   |                      |   |                      |   |                   |

<キの解答群>

1  $1.6 \times 10^{-2}$

2  $4.0 \times 10^{-2}$

3  $8.5 \times 10^{-2}$

4  $1.6 \times 10^{-1}$

5  $4.0 \times 10^{-1}$

6  $8.5 \times 10^{-1}$

7  $1.6 \times 10^0$

8  $4.0 \times 10^0$

9  $8.5 \times 10^0$

<クの解答群>

1  $2.0 \times 10^{-5}$

2  $5.0 \times 10^{-5}$

3  $6.5 \times 10^{-5}$

4  $2.0 \times 10^{-4}$

5  $5.0 \times 10^{-4}$

6  $6.5 \times 10^{-4}$

7  $2.0 \times 10^{-3}$

8  $5.0 \times 10^{-3}$

9  $6.5 \times 10^{-3}$

<ケの解答群>

1  $1.5 \times 10^{-8}$

2  $3.9 \times 10^{-8}$

3  $1.0 \times 10^{-7}$

4  $1.5 \times 10^{-7}$

5  $3.9 \times 10^{-7}$

6  $1.0 \times 10^{-6}$

7  $1.5 \times 10^{-6}$

8  $3.9 \times 10^{-6}$

9  $1.0 \times 10^{-5}$

問2 次のⅠ～Ⅲの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。なお、解答群の選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

Ⅰ Ge 検出器を用いた放射能測定に際しては、観測されるγ線スペクトルは、ピーク部分とその下に横たわる連続部分とからなる。ピーク部分における計数（ピーク計数）を求める手法には、①ピーク部分の形として□A分布を、連続部分の形として多項式を想定して、最小二乗法によって未知パラメータを決定し、これから面積を求める□B法や、②ピーク領域の両裾を直線で結び、連続部分を台形分布で近似して求め、これをピーク領域の全計数から差し引く簡便な方法（これをコベル法という）などがある。ピーク領域の目安は、ピークチャンネルの左右にそれぞれ $1.5 \times$ （ピークの□C）よりやや広めの領域をとる。実際は、左右の裾の計数として、ピーク領域の左右の外側にそれぞれ数チャンネルの計数値の平均値をとり、それぞれの裾の計数値とすることが多い。

< A～Cの解答群 >

- |          |          |            |             |
|----------|----------|------------|-------------|
| 1 ローレンツ  | 2 ガウス    | 3 台形       | 4 関数フィッティング |
| 5 半値半幅   | 6 半値全幅   | 7 1/10 値全幅 | 8 標準偏差      |
| 9 マクスウェル | 10 ボルツマン |            |             |

Ⅱ 単一γ線放出核種の場合は、ピーク計数率  $n_p$  と放射能  $A$  との関係は

$$A = \frac{n_p}{\epsilon_p \Gamma} \dots (1)$$

となる。ここで、 $\epsilon_p$  はピーク効率、 $\Gamma$  は1壊変当たりの着目したγ線の放出割合である。しかし、複数のγ線（特性X線、陽電子消滅線を含む）が同時に放出される場合には、着目するγ線が全吸収を起こしても、これと同時に放出された他のγ線が検出器に同時に入射して信号電荷量が加算され、パルス波高チャンネル位置は本来のピーク位置よりも高いチャンネルに移動し、その分だけピーク計数率が減少することがある。これを□Dと言ひ、この効果の影響を補正しなければならない。

この場合、補正前のみかけのピーク計数率  $n_p^*$  と放射能  $A$  との関係は

$$A = \frac{n_p^*}{\epsilon_p \Gamma f} \dots (2), \quad \epsilon_p = \frac{n_p^*}{A \Gamma f} \dots (2)$$

となる。ここで、 $f$  は□Dによってピーク計数率が減少する割合である。多くのγ線を放出する複雑な壊変をする核種について、この項を正確に求めることは容易ではないが、例えば、図1の壊変図に示す様に、核種Xが分岐比  $a$  及び  $b$  で核種Yに壊変し、2つのγ線  $\gamma_A$  と  $\gamma_B$  とが□Eに放出される簡単な場合について考えよう。ここで、γ線  $\gamma_A$ 、 $\gamma_B$  について、それぞれの全効率を  $\epsilon_{TA}$ 、 $\epsilon_{TB}$ 、それぞれのピーク効率を  $\epsilon_{pA}$ 、 $\epsilon_{pB}$  とすると、γ線  $\gamma_A$  のピークに着目した場合、 $f = \square$ アとなり、

同様に、 $\gamma$ 線 $\gamma_B$ に着目した場合、 $f = \text{イ}$ となる。なお、 $\gamma$ 線 $\gamma_A$ と $\gamma$ 線 $\gamma_B$ とがともに全吸収を起こした場合には、それぞれの $\gamma$ 線のエネルギーの和に相当する位置にピークが観測される。このピークを **F** と呼び、**E**  $\gamma$ 線による **F** の生成効率は、**ウ** となる。

特に、線源・検出器間距離が近接している場合やウェル型の Ge 検出器を用いる場合には、**G** は高くなり、 $f$  の値は 1 からかなり小さくなり、**D** に対する補正はそれだけ大きくなる。一方、線源・検出器間距離が離れている場合、**G** は低くなりその結果 **D** は小さくなるが、**H** も低くなってしまいうので、微弱な放射能の測定には適さない。

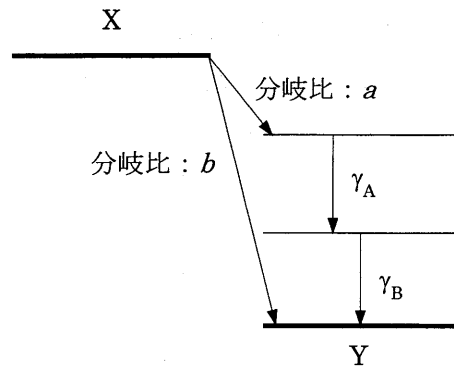


図 1

<D~Hの解答群>

- |                 |          |                |           |
|-----------------|----------|----------------|-----------|
| 1 パラレル          | 2 カスケード  | 3 サム効果         | 4 サムピーク   |
| 5 ランダムサム効果      | 6 平方根    | 7 対数           | 8 リニア     |
| 9 計数率効果         | 10 ピーク効率 | 11 全効率         | 12 パイルアップ |
| 13 シングルエスケープピーク |          | 14 ダブルエスケープピーク |           |

<ア~ウの解答群>

- |  |                                 |                                 |                                 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 $(1 - \epsilon_{PA})$  | 2 $(1 - \epsilon_{TA})$         | 3 $(1 - \epsilon_{PB})$         | 4 $(1 - \epsilon_{TB})$         |
| 5 $(1 - a\epsilon_{PA})$   | 6 $(1 - a\epsilon_{TA})$        | 7 $(1 - a\epsilon_{PB})$        | 8 $(1 - a\epsilon_{TB})$        |
| 9 $(1 - \epsilon_{TA} - \epsilon_{TB} + \epsilon_{TA}\epsilon_{TB})$ |                                 | 10 $\epsilon_{TA}\epsilon_{TB}$ | 11 $\epsilon_{PA}\epsilon_{TB}$ |
| 12 $\epsilon_{TA}\epsilon_{PB}$                                      | 13 $\epsilon_{PA}\epsilon_{PB}$ |                                 |                                 |

III 被測定線源と同じ核種の標準線源（放射能  $A_s$ ）があれば、被測定線源と標準線源とで同じ条件でそれぞれ測定を行って、それぞれのピーク計数率の比に  $A_s$  を乗ずることにより、被測定線源の放射能  $A_x$  を簡単に求めることができる。

被測定線源と同じ核種の標準線源が得られない時は、(1)式または(2)式により放射能を決定する。そのためには、放射能が既知でいくつかの $\gamma$ 線エネルギーの異なる標準線源を用いて、定めた条件（検出器・線源間距離、線源状態など）におけるピーク効率 $\epsilon_p$ を $\gamma$ 線エネルギーの関数としてあらかじめ決定しておく必要がある。この際、標準線源として、単一 $\gamma$ 線放出核種で、放出強度が十分に評価されている核種を用いるのが最適である。この様な線源の核種として、例えば「エ」（ $\gamma$ 線エネルギー：835 keV、 $\gamma$ 線放出率：100%）、 $^{85}\text{Sr}$ （514 keV、95.7%）、「オ」（662 keV、85.1%）などがある。また、複数の $\gamma$ 線を放出しても、壊変形式が単純な「カ」（1,173 keV、99.9%および1,333 keV、100%）や「キ」（898 keV、93.7%および1,836 keV、99.2%）の様な場合には、IIの(2)式の $f$ 項の適切な評価により、効率曲線の決定に用いることができる。線源・検出器間距離が大きい場合には、 $^{152}\text{Eu}$ の様に複雑な壊変をして広いエネルギー範囲の多数本の $\gamma$ 線を放出する核種を用いても、 $f$ 項は1に近づき、この種の標準線源1個のみで広いエネルギー範囲にわたってピーク効率曲線を策定することができる場合もある。

なお、ピーク効率を図示する場合、エネルギー軸を「I」スケール、ピーク効率軸を「J」スケールで表示すると、エネルギーが200 keV～3 MeVの領域にわたってほぼ直線となるので、データの内挿や解析がしやすくなる。

なお、計数率が極端に高い場合には、たとえ単一 $\gamma$ 線放出核種の場合であっても、2つのパルスが時間的に近接して到来すると、2つのパルスが「K」して、本来のピーク領域に入るべきパルスがピーク領域から流出し、みかけのピーク効率が減少することがある。これを「L」とも言うが、これはIIで述べた効果とは発生原因が異なり、IIで述べた対応は適用出来ない。テストパルサーを用いた方法などでその程度は評価、補正はできるが、「K」を軽減するには、全体の計数率を抑制することが基本である。また、増幅器の「M」回路を適切に調節して、パルスのオーバーシュートやアンダーシュートを最小とすることも大切である。

<エ～キの解答群>

- |                      |                      |                      |                     |                      |
|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1 $^{22}\text{Na}$   | 2 $^{24}\text{Na}$   | 3 $^{51}\text{Cr}$   | 4 $^{54}\text{Mn}$  | 5 $^{60}\text{Co}$   |
| 6 $^{65}\text{Zn}$   | 7 $^{88}\text{Y}$    | 8 $^{134}\text{Cs}$  | 9 $^{137}\text{Cs}$ | 10 $^{152}\text{Eu}$ |
| 11 $^{198}\text{Au}$ | 12 $^{203}\text{Hg}$ | 13 $^{241}\text{Am}$ |                     |                      |

<I～Mの解答群>

- |                |               |           |         |
|----------------|---------------|-----------|---------|
| 1 弾道欠損         | 2 カスケード       | 3 サム効果    | 4 サムピーク |
| 5 ランダムサム効果     | 6 平方根         | 7 対数      | 8 リニア   |
| 9 計数率          | 10 ポールゼロキャンセル | 11 パイルアップ |         |
| 12 ベースラインレストアラ | 13 コインシデンス    |           |         |



問3 次のⅠ～Ⅲの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ  $^{51}\text{Cr}$  (半減期28日) を用いてCrのトレーサ実験を行うために、電子線形加速器(電子の直線加速装置)により最大エネルギー30 MeVの□AをCr標的(Cr粉末をアルミ箔に包んだもの)に照射し、 $^{52}\text{Cr}(\gamma, n)$ 反応により、 $^{51}\text{Cr}$ を製造する。□Aは、加速した電子をコンバーターと呼ばれるタンダステン板または白金板に照射して得ることが多いが、発生する□Aの全強度は、コンバーターの原子番号に□B。

この加速器を使用する室の人が通常出入りする出入口には、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律に基づき、使用中である旨を自動的に表示する装置と、使用中にその室に人がみだりに入ることを防止する□Cが設けられている。加速器の運転中に、室内では□Aによる光核反応で放射性核種が生成する。空気中では、酸素から□D、窒素から $^{13}\text{N}$ が生成する。また、発生した二次中性子により空気中のアルゴンから□Eが生成する。加速器の運転を停止して室内に入る際には、室内の空間線量率が基準以下にまで下がっていることを確認する。ターゲット周辺は非常に高い線量率となっているので、入室にあたっては、感度は低いが数え落としの問題がなく、 $10 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ 程度でも測定可能な□Fを携行して測定値を確認しつつ入室し、不用意な被ばくをしないように作業する。

< A～Cの解答群 >

- |              |          |             |
|--------------|----------|-------------|
| 1 制動放射線      | 2 散乱電子線  | 3 コンプトンガンマ線 |
| 4 逆コンプトンガンマ線 | 5 比例する   | 6 反比例する     |
| 7 依存しない      | 8 インターホン | 9 インターロック   |
| 10 監視カメラ     | 11 二重施錠  |             |

< D、Eの解答群 >

- |                     |                   |                            |                    |                    |
|---------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
| 1 $^3\text{H}$      | 2 $^7\text{Be}$   | 3 $^{11}\text{C}$          | 4 $^{13}\text{N}$  | 5 $^{15}\text{O}$  |
| 6 $^{16}\text{N}$   | 7 $^{19}\text{O}$ | 8 $^{34\text{m}}\text{Cl}$ | 9 $^{40}\text{Ar}$ | 10 $^{40}\text{K}$ |
| 11 $^{41}\text{Ar}$ |                   |                            |                    |                    |

< Fの解答群 >

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1 蛍光ガラス線量計                                 | 2 TLD線量計                      |
| 3 OSL線量計                                   | 4 $\text{BF}_3$ 比例計数管式サーベイメータ |
| 5 $\text{NaI}(\text{Tl})$ シンチレーション式サーベイメータ |                               |
| 6 電離箱式サーベイメータ                              |                               |
| 7 $\text{ZnS}(\text{Ag})$ シンチレーション式サーベイメータ |                               |

II  $^{52}\text{Cr}(\gamma, n)$ 反応により製造した50 MBqの $^{51}\text{Cr}$ を用いてトレーサ実験を行う。 $^{51}\text{Cr}$ は100%の割合でEC壊変し、320 keVのガンマ線（放出率10%）とバナジウムの **G** を放出する。放射線発生装置を取り扱う際は、主として外部被ばくを考慮すればよいが、製造した非密封の放射性核種を取り扱う場合には、外部被ばくとともに内部被ばくも考慮する必要がある。

外部被ばくを低減するための3原則は、距離による防護、遮蔽による防護、並びに、時間による防護である。点線源による線量率は線源からの距離の **H** するので、照射したCr標的はピンセットやトンクを用いて取り扱い、指の局所被ばくを低減させる。50 MBqの $^{51}\text{Cr}$ を遮蔽をせずに4時間取り扱うとき、 $^{51}\text{Cr}$ の実効線量率定数を、 $0.0046 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ とすると、50 cm離れた位置では **A**  $\mu\text{Sv}$ の被ばくとなる。 $^{51}\text{Cr}$ を鉛で遮蔽する場合、320 keVのガンマ線の全質量減弱係数は $0.38 \text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 、鉛の密度は $11 \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ であるので、320 keVのガンマ線に対する半価層の厚さは、**I** cmである。従って、**ウ** cmの厚さの鉛を用いれば $^{51}\text{Cr}$ からのガンマ線は1/128に減衰する計算となる。実際にはビルドアップにより約1/100に減衰する。線量は線量率と時間の積であるので、短時間で取り扱えば、被ばく線量は小さくなる。そのためには適切な計画と十分な準備が必要である。

ICRP Publ.5における修正係数によると、非密封RIの取扱操作の危険度は、貯蔵 < **I** の順で増す。この危険度を考慮し、外部被ばくと内部被ばく、並びに汚染の防止対策を含む実験計画をたてた。外気と遮断された構造であるグローブボックスの中で、照射した標的を開封し、Cr粉末を酸に加熱溶解する。次に、この溶液を、ポリエチレンろ紙で内面を養生した空気の流速が適正に制御されたフード（ドラフト）で、ポリエチレンろ紙を内面に敷いたバットの中で取り扱う。溶液から一定量を分取して、一連の化学操作を行い、化学的挙動を追う。溶液の分取には、内部被ばくを防ぐために、**J** を用いて全量ピペットを操作するか、マイクロピペットを使用する。これらの操作は、鉛遮蔽体の後ろから行う。化学操作の各段階での溶液をガンマ線測定する。この測定には、自動試料交換機能のついた井戸型の検出器を利用する。

照射していないCr粉末を用いた **K** により実験手順を確認し、あらかじめ、化学操作に習熟しておく。

< G、Hの解答群 >

- |          |             |           |           |
|----------|-------------|-----------|-----------|
| 1 アルファ線  | 2 ベータ線      | 3 ガンマ線    | 4 特性 X 線  |
| 5 制動 X 線 | 6 0.5 乗に反比例 | 7 1 乗に反比例 | 8 2 乗に反比例 |
| 9 1 乗に比例 | 10 2 乗に比例   |           |           |

< A～ウの解答群 >

- |           |        |         |        |         |
|-----------|--------|---------|--------|---------|
| 1 0.00037 | 2 0.17 | 3 0.511 | 4 0.74 | 5 1.022 |
| 6 1.2     | 7 1.7  | 8 3.7   | 9 5.2  | 10 7.4  |
| 11 8.2    | 12 10  | 13 37   | 14 100 |         |

< I の解答群 >

- 1 乾式で粉末発生 < 普通の化学操作 < 粉末の取扱い ≙ 揮発性化合物の取扱い
- 2 乾式で粉末発生 < 粉末の取扱い ≙ 揮発性化合物の取扱い < 普通の化学操作
- 3 粉末の取扱い ≙ 揮発性化合物の取扱い < 乾式で粉末発生 < 普通の化学操作
- 4 粉末の取扱い ≙ 揮発性化合物の取扱い < 普通の化学操作 < 乾式で粉末発生
- 5 普通の化学操作 < 粉末の取扱い ≙ 揮発性化合物の取扱い < 乾式で粉末発生
- 6 普通の化学操作 < 乾式で粉末発生 < 粉末の取扱い ≙ 揮発性化合物の取扱い

< J、K の解答群 >

- 1 コールドラン      2 ホットラン      3 机上練習      4 マウスピース
- 5 安全ピペッタ      6 二連球ゴム

III トレーサ実験終了後、使用した箇所の表面汚染の有無をサーベイメータを用いて検査する。

$^{51}\text{Cr}$ を用いたトレーサ実験が終わった後、式サーベイメータを用いて検査したところ、フード内の一部に面状の汚染が認められたので、間接法により表面汚染密度を測定した。スミアろ紙をトレーサ実験で使った検出器で測定すると、2,800 cpmであった。バックグラウンドを400 cpm、計数効率を40%、ふき取り面積を $100\text{ cm}^2$ 、ふき取り効率を0.5とし、 $^{51}\text{Cr}$ のガンマ線の放出率(10%)を考慮すると、この汚染の表面汚染密度は  $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ と見積もられた。ふき残った $^{51}\text{Cr}$ は湿式除染した。

一般に、直接法による検査は、固着性汚染と遊離性汚染の両者に有効である。しかし、空間線量率が高い場所や、汚染核種が $^3\text{H}$ の場合は汚染を見逃してしまうことがあるので注意が必要である。

< L の解答群 >

- 1 電離箱      2  $\text{ZnS}(\text{Ag})$ シンチレーション
- 3  $\text{NaI}(\text{Tl})$ シンチレーション      4  $\text{BF}_3$ 比例計数管式サーベイメータ

< エ の解答群 >

- 1 10      2 17      3 20      4 23      5 1,200
- 6 2,000

問4 次のI、IIの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。なお、解答群の選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

I 長期間、容器に入れて冷凍保管されてきた有機物試料の中に、 $^3\text{H}$ と $^{14}\text{C}$ が含まれていることが記録されている。この容器内の試料の状態を確認することにした。このような作業では、汚染や内部被ばくに注意する必要がある、容器をフードの中で開封した。試料の放射能を測定するため、一部を取り出し測定試料とした。

この2核種は $\beta^-$ 壊変核種であり、測定には液体シンチレーションカウンタが適している。 $^3\text{H}$ と $^{14}\text{C}$ の $\beta^-$ 線の最大エネルギーはそれぞれ□A□ keVと□B□ keVとお互いに離れているので、波高弁別が可能で、同時定量できる。

分取した測定試料そのものを、有機溶剤で溶解させることができれば、その溶液にシンチレーションカクテルを加えて、直接測定する。液体シンチレーション測定では、クエンチング効果を考慮すべき場合がある。クエンチング効果には、共存する化合物によって、発光が抑えられる□C□と、試料溶液が着色しているためにシンチレータ光が吸収される□D□が知られている。後者は、□E□色に着色した溶液で強い。また、試料溶液とシンチレータが化学反応を起こし、□F□が発生し、過大評価となることがある。この効果は、一定時間経過すると減少する場合が多い。

分取した測定試料は、有機溶剤に容易に溶解できなかったことから、燃焼法により分離し、2核種を分別捕集することにした。管状電気炉の石英管内に試料を入れ、酸素気流中で燃焼させた。燃焼ガスは加熱した酸化銅の中を通し、 $^3\text{H}$ は□G□で捕集し、 $^{14}\text{C}$ は□H□によりトラップさせた。捕集した $^3\text{H}$ は少量の水を加えて溶解して測定バイアルに回収したのち、□I□を加えて測定試料とした。

<A、Bの解答群>

- |       |        |       |       |         |
|-------|--------|-------|-------|---------|
| 1 3.4 | 2 18.6 | 3 157 | 4 257 | 5 1,711 |
|-------|--------|-------|-------|---------|

<C～Fの解答群>

- |               |            |             |
|---------------|------------|-------------|
| 1 量子クエンチング    | 2 色クエンチング  | 3 化学クエンチング  |
| 4 有機クエンチング    | 5 分子クエンチング | 6 ケミルミネセンス  |
| 7 エレクトロルミネセンス | 8 熱ルミネセンス  | 9 フォトルミネセンス |
| 10 赤や黄        | 11 緑       | 12 青        |
| 13 紫          | 14 白       |             |

<G～Iの解答群>

- |              |          |            |
|--------------|----------|------------|
| 1 モレキュラーシーブ  | 2 シリカゲル  | 3 活性炭      |
| 4 コールドトラップ   | 5 EDTA   | 6 酸化鉄      |
| 7 モノエタノールアミン | 8 トルエン   | 9 乳化シンチレータ |
| 10 混合キシレン    | 11 エタノール |            |

II 放射性物質を含む廃液の処理を検討するには、化学的性質等の理解が不可欠である。液体のまま保管する場合、容器の破損などで、汚染が広がる可能性がある。そこで、沈殿として回収して、固体廃棄物とすることも検討してみることにした。化学操作をするにあたっては、液性や化学種を事前に調べ、試薬の混合による発熱、気体発生などに注意して行う必要がある。

廃液 A、B には、以下の表に示す化学形をもつ核種が含まれているとして、化学分離に関する基礎的な反応を検討してみる。

番号	化学形	標識核種名
①	$\text{CO}_3^{2-}$	$^{14}\text{C}$
②	$\text{SO}_4^{2-}$	$^{35}\text{S}$
③	$\text{PO}_4^{3-}$	$^{32}\text{P}$

番号	化学形	標識核種名
④	$\text{Na}^+$	$^{22}\text{Na}$
⑤	$\text{Ca}^{2+}$	$^{45}\text{Ca}$
⑥	$\text{I}^-$	$^{125}\text{I}$
⑦	$\text{Cs}^+$	$^{137}\text{Cs}$

廃液 A は、①～③それぞれのイオンが  $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  の濃度で含まれている中性の水溶液である。塩酸性にすると放射性の気体が発生することに注意する必要があるのは  である。廃液 A に、 $\text{Fe}^{3+}$  イオンを加え、アンモニア水を滴下していくと、沈殿が生成して  が共沈する。この沈殿を分離した後、さらに  $\text{Ba}^{2+}$  イオンを加えていくと、 の沈殿が生成する。

廃液 B は、④～⑦それぞれのイオンが  $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  の濃度で含まれている中性の水溶液である。水素型にした陽イオン交換樹脂を加えても、 は吸着しない。また、吸着するイオンのうち、陽イオン交換樹脂への吸着強度は  が最も大きい。廃液 B に、 $\text{CO}_3^{2-}$  イオンを加えていくと、 が沈殿する。廃液 B に、 $\text{Ag}^+$  イオンを添加した場合には  の沈殿が生じる。また、廃液 B に、無機イオン交換体のゼオライト粒子を加えると、 が良く吸着する。

$\text{NaI(Tl)}$  シンチレーション式サーベイメータで廃液を測定した場合、検出可能と考えられる核種は①～⑦の核種のうち、 である。また、1 年後に 10 半減期を超えるのは  である。10 年後でも、半分以上放射能が残っている核種は  である。

< J～T の解答群 >

- |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 ①    | 2 ②    | 3 ③    | 4 ④    | 5 ⑤    |
| 6 ⑥    | 7 ⑦    | 8 ①と②  | 9 ②と③  | 10 ①と③ |
| 11 ④と⑤ | 12 ④と⑦ | 13 ③と⑥ | 14 ⑤と⑥ | 15 ①と⑦ |

問5 次のI、IIの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

I 現在の日本の放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律はICRP□ア年勧告に述べられた放射線防護の基本を取り入れている。一方、被ばくを伴う事故への対応などについては、ICRP2007年勧告などの、より新しい情報が用いられている。ICRPの勧告では放射線防護の基本として「正当化」、「防護の最適化」及び「線量限度の適用」の3種の原則が提唱されている。

基本原則のうち個人の線量限度に関してICRP2007年勧告はICRP□ア年勧告を踏襲しており、職業被ばくでは定められた5年間の平均で年間□イ mSv、ただし、いかなる1年においても□ウ mSvを超えるべきではない、また一般公衆の線量限度では年間□エ mSvとしている。なお、外部被ばくの実効線量の実務的な測定のために□Aを用いる。γ線の個人モニタリングでは、□Aは数十keV程度の低エネルギーの場合や背面のみからの被ばくなどの特殊な場合を除き、ほとんどの場合に実効線量を□Bすることが無い。

一般には自然放射線による被ばくと医療被ばくは放射線被ばくを管理する上での線量限度に□C。被ばく線量が無用が増加する恐れがある場合にガイドラインなどにより被ばくを抑えるような対処を求められる場合がある。無用とは防護の3原則のうちの行為の正当化における判断で、行為により増加する被ばくによる不利益を上まわる便益が得られないことを指す。自然放射線では、放射線審議会できりとめられた「航空機乗務員の宇宙線被ばく管理に関するガイドライン」において□オ mSv/年の管理目標値が推奨されている。

<アの解答群>

- |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 1958 | 2 1977 | 3 1990 | 4 1997 | 5 2000 |
|--------|--------|--------|--------|--------|

<イ～オの解答群>

- |       |      |       |     |      |
|-------|------|-------|-----|------|
| 1 0.5 | 2 1  | 3 2   | 4 5 | 5 10 |
| 6 20  | 7 50 | 8 100 |     |      |

<A～Cの解答群>

- |          |              |             |             |
|----------|--------------|-------------|-------------|
| 1 空間線量   | 2 吸収線量       | 3 等価線量      | 4 実効線量      |
| 5 預託実効線量 | 6 70 μm 線量当量 | 7 3 mm 線量当量 | 8 1 cm 線量当量 |
| 9 深部線量   | 10 直腸線量      | 11 過小評価     | 12 過大評価     |
| 13 含まれる  | 14 含まれない     |             |             |

II 我々は自然界に存在する放射線源から常に被ばくしている。宇宙線や大地からの放射線による外部被ばくと、体内に含まれる放射性物質および空中のラドンとその子孫核種の吸入による内部被ばくである。自然放射線による一般公衆の被ばくは、世界平均では年間約2.4 mSvとされており、ラドンとその子孫核種によるものがそのほぼ [カ] % を占める。ラドンは大地に含まれる放射性同位元素のうち壊変系列を作るものに由来し、壊変して気体のラドンとなったときに空气中に拡散する。吸入されたラドンは肺で壊変して沈着、あるいは空気中で壊変して生じた<sup>218</sup>Poなどの子孫核種が吸入により肺に沈着する。これらの核種には、飛程が短く近隣組織に大きな線量を与えるα線を放出する放射性同位元素が多いために [D] の原因となり得る。α線では [E] のデータを反映して決定された放射線加重（荷重）係数が [キ] と大きいことも加わって、ラドンとその子孫核種からの被ばくの実効線量が大きくなっている。放射線誘発がんリスクを推定するうえで、タバコは [F] となることが知られている。ラドンに起因する [D] の過剰絶対リスクでは、生涯タバコを吸い続ける人の方が非喫煙者よりも [G] なる。

日本人平均では自然放射線からの被ばくは年間約2.1 mSvと評価されており、そのうち最も大きいのは食物摂取による内部被ばくの約 [ク] mSvである。日本人で世界平均に比べ食品からの被ばく量が大きいのは、日本人で消費の多い [H] にウラン系列の放射性核種が多く含まれているためである。そのうち、内部被ばくへの寄与が最も大きい核種は [I] である。体内の放射性物質からの被ばくでは [I] に次いで [J] からの被ばくが [ケ] mSvと大きい。食物摂取による内部被ばく量は、内臓ごとの人体試料データが少ないために、食品中の放射性同位元素濃度を調べてその摂取量と実効線量係数などから [K] として推定することが多い。

<カ～ケの解答群>

- |        |       |        |       |        |
|--------|-------|--------|-------|--------|
| 1 0.18 | 2 0.3 | 3 0.33 | 4 0.6 | 5 0.99 |
| 6 1.5  | 7 3   | 8 5    | 9 10  | 10 15  |
| 11 20  | 12 30 | 13 50  | 14 75 | 15 90  |

<D、Eの解答群>

- |       |        |       |       |
|-------|--------|-------|-------|
| 1 LET | 2 RBE  | 3 OER | 4 胃がん |
| 5 肺がん | 6 喉頭がん |       |       |

<F～Hの解答群>

- |        |       |        |        |
|--------|-------|--------|--------|
| 1 米    | 2 魚介類 | 3 納豆   | 4 味噌   |
| 5 高く   | 6 低く  | 7 阻害因子 | 8 交絡因子 |
| 9 律速因子 |       |        |        |

<Iの解答群>

- |                     |                     |                     |                     |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 $^{226}\text{Rn}$ | 2 $^{222}\text{Rn}$ | 3 $^{220}\text{Rn}$ | 4 $^{210}\text{Po}$ | 5 $^{210}\text{Pb}$ |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|

<Jの解答群>

- |                |                   |                   |                   |                    |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 $^3\text{H}$ | 2 $^{14}\text{C}$ | 3 $^{32}\text{P}$ | 4 $^{40}\text{K}$ | 5 $^{45}\text{Ca}$ |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|

<Kの解答群>

- |                |                   |
|----------------|-------------------|
| 1 吸収線量         | 2 等価線量            |
| 3 預託実効線量       | 4 70 マイクロメートル線量当量 |
| 5 1センチメートル線量当量 |                   |



問6 次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。なお、解答群の選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

Ⅰ 個人の内部被ばくモニタリングのために行われる吸入摂取したプルトニウムの測定法としては、体外計測法とバイオアッセイ法が用いられる。体外計測法としては□A□が用いられ、 $^{239}\text{Pu}$  を評価する場合には  $^{239}\text{Pu}$  の□B□に伴う□C□のLX線を計測するか、プルトニウムと通常共存する $^{241}\text{Am}$ からの□D□ keVの $\gamma$ 線を測定する。□A□による体外計測法では、□E□を区別することができないため、測定する際に注意が必要である。また、検出限界は30～60分の測定で□F□ Bq程度であり、さらに体型による補正が必要となる。体外計測法その他、プルトニウムを吸入摂取した場合の吸入量の測定法としては、□G□を用いたバイオアッセイ法が有用である。これは、吸入摂取されたプルトニウムの□H□%が吸入摂取後1週間以内に□G□中に移行することを利用するものである。バイオアッセイ法では□I□を除外でき、検出限界は□J□ Bq/試料である。また、□K□を用いることにより検出限界は改善させることができる。体外計測法では□E□を区別できないという特徴のため、□E□がある場合には被ばく線量を□L□評価する結果となる。特に事故発生当初に体外計測法を用いる場合には、慎重に評価することが必要である。バイオアッセイ法を用いる場合には、事故発生当初に□G□を採取する時に□M□プルトニウム等が混入しないように注意が必要である。

< Aの解答群 >

- 1 ホールボディカウンタ                      2 甲状腺モニタ                      3 肺モニタ  
4 体表面汚染検査計

< Bの解答群 >

- 1  $\alpha$ 壊変                      2  $\beta$ 壊変                      3  $\gamma$ 壊変                      4 核分裂  
5 電子捕獲

< Cの解答群 >

- 1  $^{234}\text{U}$                       2  $^{235}\text{U}$                       3  $^{239}\text{U}$                       4  $^{238}\text{Pu}$                       5  $^{240}\text{Pu}$

< Dの解答群 >

- 1 17.0                      2 20.3                      3 38.7                      4 51.6                      5 59.5

< Eの解答群 >

- 1 骨髄への沈着                      2 肝臓への沈着                      3 血液への移行                      4 心臓への沈着  
5 体表面汚染

< Fの解答群 >

- 1 0.001~0.01                      2 5~100  
3 500~10,000                      4 50,000~1,000,000

< Gの解答群 >

- 1 便                      2 血液                      3 痰                      4 呼気                      5 鼻汁

< Hの解答群 >

- 1 0.05~0.1                      2 1~5                      3 20~40                      4 50~70  
5 80~90

< Iの解答群 >

- 1 骨髄への沈着                      2 肝臓への沈着                      3 血液への移行                      4 心臓への沈着  
5 体表面汚染

< Jの解答群 >

- 1 0.001~0.01                      2 5~100  
3 500~10,000                      4 50,000~1,000,000

< Kの解答群 >

- 1 ICP質量分析計                      2  $\alpha$ 線スペクトロメトリー  
3 液体シンチレーションカウンタ                      4 ZnS(Ag)サーベイメータ

< Lの解答群 >

- 1 過小                      2 過大

< Mの解答群 >

- 1 空気中の                      2 手や服についた                      3 食物中の                      4 水道水中の

II 一般にバイオアッセイ法の対象となる代表的な核種としては  $^3\text{H}$ 、 $\boxed{\text{N}}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Am}$  等がある。一般に、バイオアッセイの試料としては、主に尿、便、血液、痰、呼気、鼻汁が用いられる。 $^3\text{H}$  では  $\boxed{\text{O}}$ 、 $\boxed{\text{N}}$  では  $\boxed{\text{P}}$  が試料として用いられることが多い。吸入摂取が疑われる場合には  $\boxed{\text{Q}}$  を行うことが重要であるが、 $\boxed{\text{Q}}$  で放射性物質が検出されないからといって吸入汚染が否定されることはない点に注意が必要である。

体内汚染が疑われる場合にバイオアッセイで線量評価をするためには、尿のバイオアッセイでは、通常  $\boxed{\text{ア}}$  を  $\boxed{\text{R}}$  日間分採取する。便のバイオアッセイでは、通常  $\boxed{\text{イ}}$  を  $\boxed{\text{R}}$  日間分採取する。

<Nの解答群>

- 1  $^{11}\text{C}$                       2  $^{13}\text{N}$                       3  $^{15}\text{O}$                       4  $^{90}\text{Sr}$                       5  $^{222}\text{Rn}$

<O、Pの解答群>

- 1 尿                      2 便                      3 血液                      4 痰                      5 呼気  
6 鼻汁

<Qの解答群>

- 1 痰のバイオアッセイ                      2 呼気のバイオアッセイ                      3 鼻汁のバイオアッセイ  
4 鼻スミア                      5 口角スミア

<ア、イの解答群>

- 1 1日につき1回分の排泄量の一部                      2 1日につき1回分の排泄量の全量  
3 1日の排泄量の全量

<Rの解答群>

- 1 1~2                      2 3~7                      3 14~21                      4 21~28  
5 28~56



