

令和5年度

第1種放射線取扱主任者試験

問題と解答例

実務

解答例は公益社団法人日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会が解答の一案として作成したものです。

・正誤票の内容（問6 IIIの6行目の誤記）は修正済みです。

問1 次の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

表面汚染密度の測定法には、直接測定法と間接測定法がある。直接測定法は、放射線測定器を用いて、直接的に測定する方法であり、□Aと□Bの両方の表面汚染を測定することができる。しかし、測定の際に、周辺の空間線量率が高いと正確な測定が困難である。間接測定法は、スミア法によって、□B表面汚染を測定する方法である。測定器を用いることが困難な場合や、測定の支障となる外部放射線の線量率が高い場合でも有効な方法であるが、□A表面汚染を測定することはできない。

直接測定法では、測定器検出部（プローブ）を測定面上でゆっくりと移動させて測定する。サーベイメータを用いた測定では、自動的に時定数が切り替わる機種を除き、放射線場の状況に応じた適切な時定数を設定する。時定数は、出力回路の静電容量（ C ）と抵抗値（ R ）とから、□Cで求められる値である。時定数が小さいと、測定に要する時間は短い、測定値のばらつきが大きい。時定数を大きくすると、測定にかかる時間は長くなるが、測定値のばらつきは小さくなる。時定数を T とすると、表示値（指示値）は、測定開始後の時間 t の関数□Dに従って上昇する。例えば、時定数が3秒のとき、測定開始9秒後に、定常状態に達したときの値の約□ア%の値が表示される。プローブの放射線入射窓と測定面との距離は、通常、□E程度に近づける。入射窓の直径が5 cmのGM管式サーベイメータで β 放射体（ β 線放出割合100%）による表面汚染を測定し、得られた正味の計数率が12,000 cpmであったとき、表面汚染密度はおおよそ□イ $\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ と計算される。ただし、線源効率（汚染部の β 壊変率に対するプローブ側に放出される β 粒子表面放出率の割合）を0.5とし、機器効率（ β 粒子表面放出率に対する計数率の割合）を0.5とする。また、数え落としは無視する。

間接測定法では、スミアろ紙などを用いて原則として表面汚染箇所□Fふき取り、移行した放射性物質の放射能を測定することによって□B表面汚染を評価する。低いエネルギーの β 線を測定する場合は、□Gを用いる。 β 放射体（ β 線放出割合100%）による表面汚染箇所の 100 cm^2 をスミアろ紙でふき取り、そのろ紙をGM計数装置で測定した結果、正味の計数率が3,000 cpmであった。ここで、ふき取り効率を10%、GM計数装置の計数効率（計数率/ β 壊変率）を20%と仮定すると、表面汚染密度は□ウ $\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ と計算される。ただし、数え落としは無視する。

<A、Bの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|----------------|-----------------|
| 1 揮発性 | 2 不揮発性 | 3 遊離性 | 4 固着性 |
| 5 高レベル | 6 低レベル | 7 短半減期核種 | 8 長半減期核種 |
| 9 液体状 | 10 固体状 | 11 β 放射体 | 12 γ 放射体 |
| 13 有機物 | 14 無機物 | | |

<Cの解答群>

- | | | | | |
|---------------|----------|---------|---------|--------------|
| 1 RC | 2 $1/RC$ | 3 C/R | 4 R/C | 5 $1/(1+RC)$ |
| 6 $RC/(1+RC)$ | | | | |

<Dの解答群>

- | | | | |
|----------------|---------------|------------------|-----------------|
| 1 $\exp(-t/T)$ | 2 $\exp(t/T)$ | 3 $1-\exp(-t/T)$ | 4 $1-\exp(t/T)$ |
|----------------|---------------|------------------|-----------------|

(令和5年度) 第1種実務

<アの解答群>

- 1 63 2 74 3 85 4 95 5 98
6 100

<Eの解答群>

- 1 5 cm 2 7 cm 3 10 cm 4 入射窓が汚染しない
5 入射窓が接触する 6 入射窓の半径

<イの解答群>

- 1 0.04 2 0.4 3 4 4 40 5 400
6 4,000

<Fの解答群>

- 1 の中心を強く 2 の外縁部を強く
3 を一定の圧力で 4 が液体の汚染では弱い圧力で

<Gの解答群>

- 1 液体シンチレーションカウンタ 2 GM管式サーベイメータ
3 Ge半導体検出器 4 電離箱式サーベイメータ

<ウの解答群>

- 1 1.0 2 2.5 3 5.0 4 10 5 25
6 50

[解答] A-4 B-3 C-1 D-3 ア-4 E-4 イ-4 F-3 G-1 ウ-5

[解説]

A、B：汚染には固着性表面汚染（取れにくい汚染）と、遊離性表面汚染（取れやすい汚染）があり、直接測定方法は両方の表面汚染を測定できる方法である。間接測定法は遊離性表面汚染に対して有効な方法である。

D：表示値（指示値）は、時定数 T 、測定開始後の時間 t とした場合の関数は次式によって求められる。

$$1 - \exp(-t/T)$$

ア：Dの式により、 $t=9$ 、 $T=3$ を代入すると、 $1 - \exp(-9/3) = 0.95$ となる。これを百分率で表すと95%となる。

イ：入射窓の直径が5cmより、入射窓の面積は $2.5^2 \times 3.14 = 19.625 \approx 20 \text{ cm}^2$

放射能[Bq]を求めるには、計数率を1秒間あたりにし $12000/60 = 200 \text{ cps}$ となり、計数率/(線源効率×機器効率)より、 $200/(0.5 \times 0.5) = 800 \text{ dps}$ ($\text{dps} = \text{Bq}$)となる。

したがって、表面汚染密度は、 $800/20 = 40 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ となる。

G：液体シンチレーションカウンタは低いエネルギーの β 線沿測定、GM管式サーベイメータは高いエネルギーの β 線であれば測定可能、Ge半導体検出器は γ 線の測定で使用する。

ウ：放射能[Bq]を求めるには、計数率を1秒間あたりにすると $3000/60 = 50 \text{ [cps]}$ となり、計数率/(拭き取り効率×計数効率)より、 $50/(0.1 \times 0.2) = 2500 \text{ dps}$ ($\text{dps} = \text{Bq}$)となる。

したがって、表面汚染密度は $2500/100=25 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ となる。

問2 次のI、IIの文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

I γ 線の線量測定では、作業環境の線量率レベルに応じて様々な種類のサーベイメータが使用されている。例えば、数 $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ までの線量率測定では、パルス計測による□A式サーベイメータや□B式サーベイメータが使用され、数 $\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ に達する線量率レベルでは、電流計測による□C式サーベイメータが使用されている。これらのサーベイメータのうち、□B式サーベイメータ及び□C式サーベイメータでは、 γ 線のエネルギー情報を直接得ることはできないが、□C式サーベイメータでは、1 cm 線量当量に関するエネルギー特性が良好であり、広いエネルギー範囲で精度の高い測定ができる。また、□A式サーベイメータでは、得られたパルス信号の□Dをリアルタイムでデジタル演算処理することにより、エネルギー特性を改善できる。

これらのサーベイメータによる線量測定の信頼性を継続的に担保するためには、□Eへのトレーサビリティのとれた1 cm 線量当量標準場で定期的に校正することが重要である。校正証明書には、校正条件とともに校正定数及びその不確かさが記載されている。測定で得られた線量率の表示値(指示値)を M 、校正定数を R とすると、補正された1 cm 線量当量率は、□Fとして求められる。

<A~Cの解答群>

- | | | |
|-------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 固体飛跡検出器 | 2 表面障壁型 Si 半導体検出器 | 3 ZnS(Ag)シンチレーション |
| 4 NaI(Tl)シンチレーション | 5 チェレンコフ検出器 | 6 ガスシンチレーション |
| 7 GM 管 | 8 ガスフロー比例計数管 | 9 ^3He 比例計数管 |
| 10 放電箱 | 11 電離箱 | |

<Dの解答群>

- | | | | | |
|-----------|------|--------|--------|-------|
| 1 立ち上がり時間 | 2 波高 | 3 パルス幅 | 4 不感時間 | 5 周波数 |
|-----------|------|--------|--------|-------|

<E、Fの解答群>

- | | | | | |
|---------|---------|---------|--------------|---------|
| 1 国家標準 | 2 ICRP | 3 ICRU | 4 JIS | 5 M/R |
| 6 R/M | 7 $M+R$ | 8 $M-R$ | 9 $M\cdot R$ | |

〔解答〕 I A-4 B-7 C-11 D-2 E-1 F-9

〔解説〕 なし

II ^{137}Cs γ 線源を用いた1 cm 線量当量率の標準場中に設定された校正点Pで、サーベイメータAを校正する場合を考察する。ただし、校正点Pにおける1 cm 線量当量率は、 $7.5\pm 0.18 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ と値付けされており、不確かさは標準偏差で与えられている。

サーベイメータAの実効中心を校正点Pに合わせて設置し、1分間の測定で10,000カウントの正味の計数を得た。この時の正味の計数率は、 $6.0\times 10^5 \text{ h}^{-1}$ であり、相対標準偏差で表した不確かさは、□ア%となる。この結果、1カウントの計数を1 cm 線量当量へ換算する係数は、□イ μSv

(令和5年度) 第1種実務

であり、相対標準偏差で表した不確かさは、ウ %として求められる。

次に、校正したサーベイメータ A を実用標準測定器として、同じ型式の実用サーベイメータ B の簡素化した校正方法について考察する。

管理区域内にある ^{137}Cs γ 線源を用いた簡易校正場の基準点 Q において、サーベイメータ A の測定により、1 cm 線量当量率が $22 \pm 0.9 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ と値付けされた。次に基準点 Q にサーベイメータ B を設置して測定した結果、表示値（指示値）が $26 \pm 1 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ であった。なお、不確かさは標準偏差で与えられている。以上の結果を用いてサーベイメータ B の校正定数を計算すると、エ として求められる。ただし、サーベイメータ A、B の校正定数は、 γ 線のエネルギーに依存しないものとし、サーベイメータのバックグラウンド計数は無視できるものとする。

<アの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 0.6 | 2 0.8 | 3 1.0 | 4 1.2 | 5 1.4 |
| 6 1.6 | 7 1.8 | 8 2.0 | | |

<イの解答群>

- | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 1.3×10^{-6} | 2 7.5×10^{-6} | 3 1.0×10^{-5} | 4 1.3×10^{-5} |
| 5 7.5×10^{-5} | 6 8.0×10^4 | 7 1.0×10^5 | 8 1.3×10^5 |
| 9 8.0×10^5 | | | |

<ウの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 1.4 | 2 1.6 | 3 2.0 | 4 2.6 | 5 3.4 |
| 6 3.6 | 7 4.4 | 8 4.8 | | |

<エの解答群>

- | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 1 0.85 ± 0.02 | 2 0.85 ± 0.05 | 3 0.85 ± 0.09 | 4 1.2 ± 0.03 |
| 5 1.2 ± 0.06 | 6 1.2 ± 0.09 | | |

〔解答〕 II ア-3 イ-4 ウ-4 エ-2

〔解説〕

ア：計数 N に対する相対標準偏差は \sqrt{N}/N である。

したがって、 $\sqrt{10,000}/10,000 = 0.01$ となる。

これを百分率で表すと 1.0% となる。

ウ：誤差を有する値 $A \pm \sigma_A$ を同じく誤差を有する値 $B \pm \sigma_B$ で除した場合の誤差の伝播は

$$(A \pm \sigma_A)/(B \pm \sigma_B) = (A/B) \pm (A/B) \sqrt{\left(\frac{\sigma_A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{B}\right)^2}$$

ここで

$$\begin{aligned} (7.5 \pm 0.18)/(600,000 \pm 6,000) &= (7.5/600,000) \pm (7.5/600,000) \sqrt{\left(\frac{0.18}{7.5}\right)^2 + \left(\frac{6,000}{600,000}\right)^2} \\ &= (1.25 \times 10^{-5}) \pm (3.25 \times 10^{-7}) \end{aligned}$$

従って $3.25 \times 10^{-7}/1.25 \times 10^{-5} = 0.026 = 2.6\%$ となる。

エ：ウと同様に

$$(22 \pm 0.9)/(26 \pm 1) = (22/26) \pm (22/26) \sqrt{\left(\frac{0.9}{22}\right)^2 + \left(\frac{1}{26}\right)^2} \approx 0.85 \pm 0.05$$

となる。

問3 密封されていない放射性同位元素を取り扱う事業所の排気設備（ただし、排気監視設備を設けて排気中の放射性同位元素の濃度を監視することは行われていない。）に関する次の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

排気設備には、□Aにおける排気中の放射性同位元素の□Bの平均濃度が法令に定める濃度限度以下になるよう必要に応じて、HEPA フィルタ等、高性能のエアフィルタが設置される。HEPA フィルタ（JIS Z 8122）では、基準粒径の粒子に対し定格風量で□ア%以上の捕集効率が保証されているが、排気に係る放射性同位元素の濃度（□A）の計算では、HEPA フィルタの放射性粒子の透過率として、原則□イを用いることとされている。HEPA フィルタ等の使用に伴い、空気中のダストによるHEPA フィルタ等の目詰まりが進行し、□Cが大きくなっていくので、□Cを測定・監視しながら適切な時期にHEPA フィルタ等の交換を行うことが多い。目詰まりを低減し、HEPA フィルタ等の寿命を延ばすため、通常、HEPA フィルタ等の前段には□Dを設置する。HEPA フィルタ等を交換したとき、使用済みのHEPA フィルタ等は□Eとして取り扱う。

放射性気体に対しては、HEPA フィルタ等の透過率は□ウとされる。ヨウ素化合物には容易に気化するものが多いので、放射性ヨウ素を取り扱う施設では、□Fを必要に応じて排気設備に設置する。また、放射性気体はできるだけ発生源で捕えることが重要であり、放射性気体が発生する装置の排気側に、トリチウム水の場合には冷却トラップやシリカゲルカラム、炭酸ガスの場合には□Gなどのトラップを設置することが有効である。

<Aの解答群>

- | | | |
|-----------|---------------|--------------|
| 1 管理区域の境界 | 2 事業所の境界 | 3 人が常時立ち入る場所 |
| 4 排気口 | 5 排気口の直上1mの場所 | |

<Bの解答群>

- | | | |
|-------|--------|-------|
| 1 8時間 | 2 24時間 | 3 1週間 |
| 4 1月間 | 5 3月間 | |

<アの解答群>

- | | | | | |
|---------|---------|------|--------|--------|
| 1 90 | 2 95 | 3 99 | 4 99.5 | 5 99.9 |
| 6 99.97 | 7 99.99 | | | |

<イ、ウの解答群>

- | | | | | |
|----------|---------|---------|--------|--------|
| 1 0.0005 | 2 0.001 | 3 0.005 | 4 0.01 | 5 0.05 |
| 6 0.1 | 7 0.5 | 8 1 | | |

<C、Dの解答群>

- | | | |
|----------|--------|--------|
| 1 フィルタ重量 | 2 圧力損失 | 3 電気抵抗 |
|----------|--------|--------|

(令和5年度) 第1種実務

- | | | |
|--------------|----------|-----------|
| 4 排気温度 | 5 捕集効率 | 6 付着放射能 |
| 7 ULPA フィルタ | 8 プレフィルタ | 9 ベントフィルタ |
| 10 メンブレンフィルタ | | |

<E の解答群>

- | | | |
|-------------|-------------|-------------|
| 1 医療用廃棄物 | 2 可燃性の一般廃棄物 | 3 難燃性の一般廃棄物 |
| 4 不燃性の一般廃棄物 | 5 放射性廃棄物 | 6 産業廃棄物 |

<F、G の解答群>

- | | | |
|--------------|-------------|-----------|
| 1 アルカリ性水溶液 | 2 モレキュラーシーブ | 3 活性炭フィルタ |
| 4 静電式集塵装置 | 5 ろ紙 | 6 ガラスフィルタ |
| 7 ポリエチレンフィルタ | | |

[解答] A-4 B-5 ア-6 イ-4 ウ-8 C-2 D-8 E-5 F-3 G-1

[解説]

A、B：RI法規則第14条の11第1項第4号ハにより密封されていない放射性同位元素を使用する場合は告示（放射線を放出する同位元素の数量等を定める件）第14条によって、排気口における濃度限度は、3月間の平均濃度が濃度限度を超えないよう定められている。

ア：HEPAフィルタは0.3 μ mの塵埃を99.97%捕集する。

イ、ウ：HEPAフィルタによる液体・固体の放射性粒子の透過率は、原則0.01とする。ただし、放射性気体（水素、炭素ならびにイオウ化合物及びヨウ素を含む）の場合は、透過率1とする。

C：HEPAフィルタ等は時間とともに、フィルタ上流側と下流側との圧力の差が大きくなり（圧力損失）目詰まりを起こすため、定期的目詰まりを監視する差圧計等で点検する。

D：プレフィルタで比較的大きい粒子を除去することで、HEPAフィルタへの負荷が低減し、HEPAフィルタの寿命をのばすことができる。

E：使用済みのHEPAフィルタ等は、放射性粒子が付着しているため、放射性廃棄物として保管廃棄設備に保管廃棄する。

F：活性炭フィルタは、放射性ヨウ素を捕集するためのフィルタである。

G：炭酸ガスは水に溶けやすく、アルカリ性水溶液に吸収されやすい性質がある。

問4 密封されていない放射性同位元素を取り扱う事業所での放射線管理および応急の措置に関する次のI、IIの文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

I 放射能が不明の ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{35}S 、 ^{45}Ca を含む混合水溶液を実験台上にこぼしてしまった。実験台にはポリエチレンろ紙が貼られていたが、継ぎ目の部分から、一部は台上に漏れていた。台上の液の大半を吸水紙で除去した後、端窓型GM管式サーベイメータによる測定で汚染範囲を特定した。このとき、計数率の最も高い測定ポイントでの値は、33,000 cpmであった。この測定値を用いた表面汚染密度の評価では、真の計数率に対する数え落としの割合□ア%を補正した。なお、このサ

ーバイメータの **A** は 200 μs であった。

実験台を除染するに当たり、除染剤の選択には、実験台の表面材料との反応性、汚染核種の化学的性質などを考慮する必要がある。例えば、EDTA などの **B** は、汚染核種の中では **C** の除染には有効だが、他の核種については必ずしも有効ではない。

除染に携わった作業者の一人が退出する際に、ハンドフットクロスモニタによって、手に汚染が検出された。直ちに端窓型 GM 管式サーバイメータで汚染部位を測定し、その後、速やかに皮膚を除染した。測定結果から、除染前の皮膚の表面汚染密度を $200 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ と評価した。被ばく線量の評価には、ICRU Report 56 の Table C.13 に与えられた「皮膚表面汚染密度 $1 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ 当たりの皮膚吸収線量率 [$\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1}$]」を用いた。安全側に（線量が最も高くなるように）評価するため、汚染核種のすべてが **D** であったと仮定した。この核種に対する ICRU Report 56 の値は表 1 の通りである。

表1 皮膚表面汚染密度 $1 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ 当たりの皮膚吸収線量率 [$\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1}$]

核種	深さ [mm]		
	0.07	0.4	3
D	1,726	990	89.5

なお、皮膚汚染の発生から皮膚の除染終了までに 2.5 時間が経過していたと推定された。以上より、重要な標的組織である皮膚の **E** の平均的な深さの線量を、最大 **イ** mGy と暫定的に評価し、被ばくの影響が懸念されるレベルではなかったと判断した。

<アの解答群>

- 1 3 2 5 3 7 4 9 5 11
6 13 7 15 8 17 9 20 10 25

<A、Bの解答群>

- 1 減衰時間 2 時定数 3 電荷収集時間 4 遅延時間
5 分解時間 6 吸着剤 7 キレート剤 8 界面活性剤
9 還元剤 10 酸化剤

<Cの解答群>

- 1 ^{14}C 2 ^{32}P 3 ^{33}P 4 ^{35}S
5 ^{45}Ca 6 ^{32}P と ^{33}P 7 ^{14}C と ^{35}S 8 ^{32}P 、 ^{33}P 及び ^{35}S
9 ^{32}P 、 ^{33}P 及び ^{45}Ca 10 ^{35}S と ^{45}Ca

<Dの解答群>

- 1 ^{14}C 2 ^{32}P 3 ^{33}P 4 ^{35}S 5 ^{45}Ca

<Eの解答群>

- 1 角質層 2 基底細胞層 3 線維芽細胞 4 皮下組織 5 真皮
6 毛母細胞

<イの解答群>

(令和5年度) 第1種実務

1	4.5×10^{-4}	2	4.5×10^{-3}	3	5.0×10^{-3}	4	8.6×10^{-3}
5	4.5×10^{-2}	6	5.0×10^{-2}	7	8.6×10^{-2}	8	4.5×10^{-1}
9	5.0×10^{-1}	10	8.6×10^{-1}	11	5.0	12	8.6

〔解答〕 I ア-5 A-5 B-7 C-5 D-2 E-2 イ-10

〔解説〕

ア、A：題意から A は解答群から選ぶとすると 5 分解時間が最も適切な選択肢となる。GM 計数管の分解時間を τ としたとき、真の計数率を n_0 、実際の計数率を n とすると n_0 と n には下記の関係がある。

$$n_0 = \frac{n}{(1 - n\tau)}$$

この時、真の計数率に対する数え落としの割合は

$$\frac{n_0 - n}{n_0} \times 100 = \frac{\frac{n}{1 - n\tau} - n}{\frac{n}{1 - n\tau}} \times 100 = n\tau \times 100$$

となる。ここで n は 33,000 cpm なので 1 秒当たりの計数率に変換した 550 cps と分解時間 τ に 200×10^{-6} 秒を代入すると、求める答えは 11% となる。

B、C：EDTA(エチレンジアミン四酢酸)は下図のような分子構造をもつキレート剤(キレート化剤ともいう)であり、金属イオンとキレート錯体を形成する。

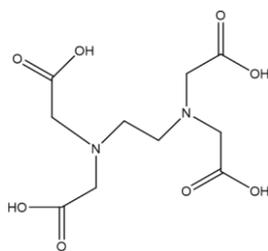


図. EDTA の分子構造

問題の汚染核種の中で EDTA とキレート錯体を形成する金属イオンは Ca のみであるため ^{45}Ca となる。

D：題意より安全側に評価を行ったとのことであるため、本題の汚染核種のうち β^- 線の最大エネルギーが最も大きな ^{32}P を用いて評価するのが適当である。参考までに ICRU Report 56 Table C. 13 に示されている本題で取り上げられた核種の吸収線量率は下記の通りである。

表 吸収線量率 [nGy・h⁻¹]

核種	β線最大エネルギー (keV)	深さ (mm)		
		0.07	0.4	3
¹⁴ C	157	290		
³² P	1711	1726	990	89.5
³³ P	249	745	2.3	
³⁵ S	167	310		
⁴⁵ Ca	257	747	3	

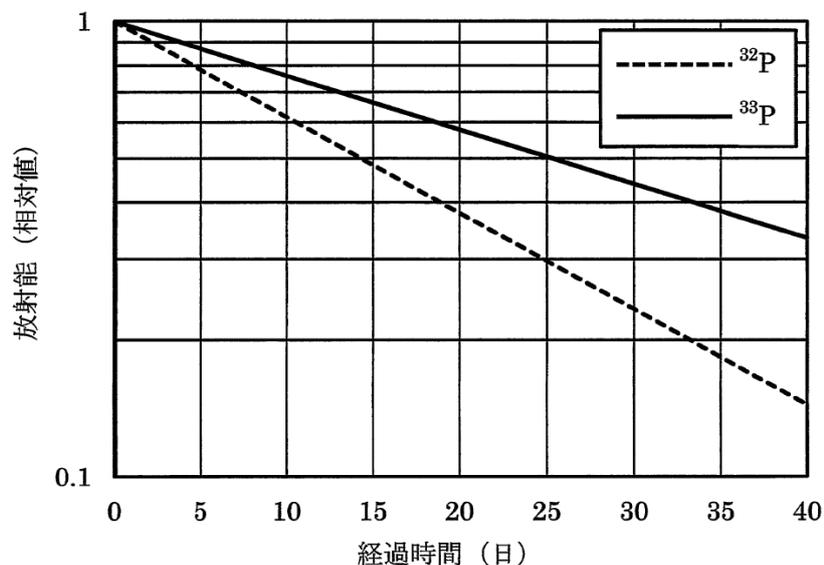
E、イ：皮膚は表面から深部に向かって、表皮－真皮－皮下組織の順になっており、表皮の最下層に基底細胞層がある。基底細胞は表皮細胞の幹細胞として盛んに細胞分裂を行っており、放射線感受性が高いため、皮膚汚染を評価する際には重要な標的組織といえる。また、皮膚の基底細胞層の平均的な深さは70 μm (0.07 mm) なので、除染前の皮膚の表面汚染密度 200 Bq・cm⁻²、表1の0.07 mmにおける皮膚吸収線量率 1,726 nGy・h⁻¹、除染終了までの経過時間 2.5 時間を用いると

$$200 \times 1726 \times 2.5 \times 10^{-6} = 8.63 \times 10^{-1} \text{ [mGy]}$$

となり 8.6×10^{-1} となる。

II 排水設備の排水口における放射性同位元素による汚染の状況の測定は、F (連続して排水する場合は、連続して) 行うことと法令により定められている。

³²P (半減期：14.3 日) と ³³P (半減期：25.3 日) のみで使用されていたとき、排水設備の貯留槽には排液が 5.0 m³ 貯留され、その排液中の ³²P の放射能濃度が 0.45 Bq・cm⁻³、³³P の放射能濃度が 6.0 Bq・cm⁻³ であった。ここでは、仮にこの排液の全量を希釈槽に移し、希釈処理して排水する場合について考察した。希釈のみで排水するためには、排液量を ウ m³ 以上にする必要のあることが分かった。なお、法令に定められている排液中又は排水中の濃度限度は、³²P では 3×10^{-1} Bq・cm⁻³、³³P では 3×10^0 Bq・cm⁻³ である。しかし、この希釈槽の容量は 10 m³ であったので、放射能の減衰を待った上で 10 m³ まで希釈して排水することとした。下図の減衰曲線を用い、排水が可能となるのは早くとも エ 日後であると推定した。



図

<Fの解答群>

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1 1週間を超えない期間ごとに1回 | 2 10日を超えない期間ごとに1回 |
| 3 1月を超えない期間ごとに1回 | 4 3月を超えない期間ごとに1回 |
| 5 排水する都度 | |

<ウの解答群>

- | | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 1 12 | 2 15 | 3 18 | 4 21 | 5 24 |
| 6 27 | 7 30 | | | |

<エの解答群>

- | | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 1 6 | 2 11 | 3 16 | 4 21 | 5 26 |
| 6 31 | 7 36 | | | |

〔解答〕Ⅱ F-5、ウ-3、エ-3

〔解説〕

F: RI法規則第20条第1項第4号ニに排気設備の排気口、排水設備の排水口、排気監視設備のある場所及び排水監視設備のある場所における放射性同位元素による汚染の状況の測定は、排気し、又は排水する都度（連続して排気し、又は排水する場合は、連続して）行うこと。とある。

ウ、エ: ^{32}P 及び ^{33}P の RI法で定める排液中または排水中の濃度限度はそれぞれ $0.3\text{Bq}/\text{cm}^3$ 及び $3\text{Bq}/\text{cm}^3$ である。排水を行う際は、 ^{32}P 及び ^{33}P の濃度のそれぞれその濃度限度に対する割合の和（比の和）が1以下でなければならない。

$$\frac{0.45}{0.3} + \frac{6.0}{3.0} = 3.5$$

従って、現在の排液を 3.5 倍に希釈する必要があることから希釈後の排液量は $5.0 \times 3.5 = 17.5 \div 18 \text{ m}^3$ となる。

減衰を待って排水時に 2 倍に希釈する場合、図から読み取れるおおよその放射能相対値は下表のとおりなので、 ^{32}P 及び ^{33}P の濃度限度との比 1.5 及び 2.0 にそれぞれの読み取り値をかけて比の和を求め、2 倍希釈することを考慮して比の和が 2 程度になる日数に近い選択を選ぶ。15 日では比の和が約 2 になるので、エの解答としてはこれに近い 16 を選択する。

表 経過時間に対する放射能相対値の読み取り値

	5日	10日	15日	20日	25日	30日
^{32}P	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
^{33}P	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4

問5 次の文章の の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを 1 つだけ選べ。

放射線防護の目的において放射線被ばくによる線量を評価するために、特別な線量計測量が開発されてきた。

国際放射線防護委員会(ICRP)の 2007 年勧告における防護量は、人体の臓器および組織の吸収線量に基づいている。同一の吸収線量であっても、放射線の種類やエネルギー(線質)により影響の現れ方は異なる。特定の臓器・組織の体積中の平均吸収線量に対し、線質について加重した防護量が A である。さらに、各臓器・組織における放射線影響の誘発に対する感受性等を考慮して加重し、全身にわたって総和をとった防護量が B である。

これらの防護量は実際には測定できない。そのため被ばく線量の管理においては、実測可能な量である実用量が定められている。実用量は、放射線防護の目的を鑑み、ほとんどの場合において防護量 C ように定められている。

外部被ばくに関する実用量として、場のモニタリングに用いる周辺線量当量、方向性線量当量、個人モニタリングに用いる個人線量当量がある。場及び個人モニタリングにおいて、 B を算定するための実用量である周辺線量当量と個人線量当量に対して、法令では、ともに ア cm 線量当量の名称が用いられている。

日常のモニタリングで、体幹部が前面からほぼ均等に外部被ばくすることが予想される場合では、 D (女子(妊娠不能と診断された者及び妊娠の意思のない旨を許可届出使用者又は許可廃棄業者に書面で申し出た者を除く。ただし、合理的な理由があるときは、この限りでない。))にあっては E) において、 ア cm 線量当量を測定・評価する。

一方、皮膚の A に対応付けられた実用量は、 イ μm 線量当量である。また、我が国では令和 3 年 4 月から眼の水晶体に対する A の限度が、法令に定められた時期を始期とする F に引き下げられた。これにより、必要に応じて、水晶体についての実用量である ウ mm 線量当量での線量測定が求められ、その測定結果については、4 月 1 日を始期とする 1 年間についての眼の水晶体の A が 20 mSv を超えた場合も考慮すると、法令に定められた時期を始期とする G の合計を算定・集計・記録・保存することが必要となった。

(令和5年度) 第1種実務

<A~Cの解答群>

- 1 実効線量 2 等価線量 3 預託線量 4 を上回らない
5 と等しくなる 6 を下回らない

<ア~ウの解答群>

- 1 0.01 2 0.03 3 0.07 4 0.1 5 0.3
6 0.7 7 1 8 3 9 7 10 10
11 30 12 70 13 100

<D、Eの解答群>

- 1 頭部 2 手指 3 胸部 4 腹部 5 背部

<Fの解答群>

- 1 1年間につき 20 mSv 2 1年間につき 50 mSv
3 1年間につき 150 mSv 4 5年間につき 100 mSv および 1年間につき 50 mSv
5 5年間につき 100 mSv 6 5年間につき 150 mSv および 1年間につき 50 mSv
7 5年間につき 150 mSv

<Gの解答群>

- 1 3か月ごと 2 1年ごと 3 5年ごと
4 3か月ごと及び1年ごと 5 1年ごと及び5年ごと 6 3か月ごと、1年ごと及び5年ごと

〔解答〕 A-2 B-1 C-6 ア-7 イ-12 ウ-8 D-3 E-4 F-4 G-6

〔解説〕

A、B：防護量には等価線量と実効線量があり、特定の臓器・組織への放射線被ばくの影響を評価したものが等価線量、体全体への影響を評価したものが実効線量である。

C：実用量は、防護量を安全側に評価するため、すなわち放射線被ばくの影響を過小評価しないために、防護量を下回らないよう定められている。

ア～ウ：測定のための実用量には、実効線量及び妊娠中の女子の腹部表面の等価線量として1cm線量当量が、眼の水晶体の等価線量として3mm線量当量が、皮膚の等価線量として70μm線量当量が導入されている。

D、E：個人モニタリングにおける1cm線量当量の測定・評価では、胸部に個人線量計を装着する。ただし胎児への身体的影響を考慮し、妊娠する可能性がある女性は腹部に装着する。

F：ICRP Publication 118に基づき、線量限度はそれまでの150mSv/年から100mSv/5年かつ50mSv/年に引き下げられた。関係法令が改正され、2021年4月1日より施行されている。

G：3か月ごと及び1年ごとについては実効線量及び等価線量で必須であり、さらに実効線量と眼の水晶体の等価線量については5年ごとの線量限度が定められている。3か月ごとの場合は、4月1日、7月1日、10月1日及び1月1日を始期とする。5年ごとの場合も任意ではなく期間が定められており、現在は2021年4月1日から2025年3月31日までとなる。

問6 トリチウム(³H)の取扱いに関する次のI～IIIの文章の□の部分について、解答群の選択肢

のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

I トリチウムは、最大エネルギー A keV の β -線を放出し、半減期 12.3 年で β -壊変する放射性核種である。トリチウム水は、トリチウムの主な存在形態の1つである。トリチウム水が体内に取り込まれたとき、大部分のトリチウムは生物学的半減期約 B で体外へ排出されると考えられている。

<A の解答群>

- 1 5.7 2 18.6 3 66.9 4 156 5 257
6 546 7 1,711

<B の解答群>

- 1 3時間 2 1日 3 3日 4 10日 5 1か月
6 100日 7 半年 8 1年 9 5年

[解答] I A-2 B-4

[解説]

A : 18.6keV (アイソトープ手帳 12 版)

B : トリチウムを含む水の生物学的半減期は 10 日間であり、有効半減期(実効半減期)も 10 日間である。

II 表 1 に、告示「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」の別表第二のトリチウムに関する部分の第一欄、第二欄、第四欄を示す。

表1 放射性同位元素の種類が明らかで、かつ、一種類である場合の空气中濃度限度等 (抜粋)

第一欄		第二欄	第四欄
放射性同位元素の種類		吸入摂取した場合の 実効線量係数 (mSv·Bq ⁻¹)	空气中濃度限度 (Bq·cm ⁻³)
核種	化学形等		
³ H	元素状水素	1.8×10^{-12}	1×10^4
³ H	メタン	1.8×10^{-10}	1×10^2
³ H	水	1.8×10^{-8}	8×10^{-1}
³ H	有機物 (メタンを除く)	4.1×10^{-8}	5×10^{-1}
³ H	上記を除く化合物	2.8×10^{-8}	7×10^{-1}

第四欄の空气中濃度限度は、 C の作業で摂取される放射性同位元素による預託実効線量が D mSv となる空气中放射能濃度 (ただし、有効数字一桁に丸めた値) として定められている。第二欄の実効線量係数は、吸入摂取量 1 Bq 当たりの預託実効線量であるが、化学形等によりその値が異なる。例えば、有機物 (メタンを除く) の値は、水すなわちトリチウム水の値の 2 倍以上で

(令和5年度) 第1種実務

ある。その主な理由は、これら両者で **E** が異なることである。

また、化学形の観点で見ると、空気中のトリチウム水は、吸入摂取に加えて **F** によっても被ばくを生ずるという点が、その特徴の一つである。

<Cの解答群>

- 1 1日(8時間) 2 1週間(40時間) 3 1月間(170時間) 4 3月間(500時間)
5 1年間(2,000時間) 6 5年間(10,000時間)

<Dの解答群>

- 1 0.25 2 1 3 1.3 4 2 5 5
6 10 7 20 8 100

<Eの解答群>

- 1 気道への沈着率 2 気道表面から血中への吸収率
3 消化管から血中への吸収率 4 血中に吸収された後の体内挙動

<Fの解答群>

- 1 β 線の外部被ばく 2 DNAに取り込まれたトリチウム
3 サブマージョン 4 皮膚からの吸収

〔解答〕 II C-2 D-2 E-4 F-4

〔解説〕

C：労働基準法第32条第1項及び第2項において、使用者は、労働者に、休憩時間を除き一週間について四十時間を超えて、労働させてはならない。また使用者は、一週間の各日については、労働者に、休憩時間を除き一日について八時間を超えて、労働させてはならない。と定められている。

D：放射線審議会基本部会(平成11年4月)において「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」のなかで、内部被ばくに係る諸量の算出方法等において、「空气中濃度限度について、1週間につき1mSvの実効線量に相当する濃度以下とすることが適当である」と放射線審議会の意見具申に基づく。

F：空気中のトリチウム水の挙動は、一般的な水の挙動と同じであり、経皮吸収が発生する。

III トリチウム水の不適切な取扱い、あるいは事故により、作業員の内部被ばくが疑われたときの線量評価について述べる。

内部被ばく線量の評価には、バイオアッセイ法が適用される。一般的には作業員の **G** を採取し、その放射能を **H** で測定する。

ICRPの線量評価モデルでは、トリチウム水は、取り込み経路によらず、取り込んだ量の100%が血中に入り、その後、水の代謝に従う。表1の実効線量係数は、このモデルに基づき計算された値であり、経口摂取に対する実効線量係数も同じ値である。また、ICRP Publication 78には、同じモデルで計算されたトリチウム水の摂取量1Bq当たりの **G** 中の放射能濃度[Bq・L⁻¹]が表2のように与えられている。なお、摂取後の時間は、摂取日当日を0日として数えられる。

表2 トリチウム水の経口摂取、注入及び吸入摂取における予測値(抜粋)

摂取後の時間(日)	(摂取量Bq当たりの $Bq \cdot L^{-1}$)	
	全摂取経路	
	G中の放射能濃度	
1	2.3×10^{-2}	
2	2.1×10^{-2}	
3	2.0×10^{-2}	
4	1.9×10^{-2}	

一例として、摂取が生じたと推測される日から3日後に、ある作業者のGが採取され、その試料から放射能濃度 $1.0 \times 10^3 Bq \cdot L^{-1}$ のトリチウムが検出されたケースについて考える。この作業者のトリチウムの摂取量は表2よりアBqと算出される。従って、このケースにおける作業者のトリチウムによる内部被ばく線量はイmSvと算定される。

<G、Hの解答群>

- | | |
|------------------|--------------------------|
| 1 血液 | 2 呼気中の水蒸気 |
| 3 唾液 | 4 尿 |
| 5 鼻咽頭ぬぐい液 | 6 便 |
| 7 井戸型 Ge 検出器 | 8 井戸型 NaI(Tl)シンチレーション検出器 |
| 9 液体シンチレーションカウンタ | 10 ガスフロー比例計数管 |
| 11 電離箱 | |

<ア、イの解答群>

- | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 2.0×10^{-4} | 2 5.0×10^{-4} | 3 7.0×10^{-4} | 4 9.0×10^{-4} | 5 2.0×10^{-2} |
| 6 5.0×10^{-2} | 7 7.0×10^{-2} | 8 9.0×10^{-2} | 9 2.0×10^2 | 10 5.0×10^2 |
| 11 7.0×10^2 | 12 9.0×10^2 | 13 2.0×10^4 | 14 5.0×10^4 | 15 7.0×10^4 |

[解答] III G-4 H-9 ア-14 イ-4

[解説]

G: バイオアッセイ法は、体内から排出される排泄物(糞尿)に含まれる放射性物質を測定する方法であるので、便か尿かの二者択一でありまた、設問中に「トリチウム水は、取り込み経路によらず、取り込んだ量の100%が血中に入り、その後、水の代謝に従う」と記載されているので、尿を選択する。

H: 井戸型 Ge 検出器は、 γ 線放出核種の測定に用いる。

井戸型 NaI(Tl)シンチレーション検出器は主に低エネルギー γ 線放出核種(I-125,他)の測定、ガスフロー比例計数管は α 線や β 線放出核種の測定、液体シンチレーションカウンタは β 線放出核種の測定に用いる。

ア: 摂取3日後の尿中に排出されたトリチウム量が $1.0 \times 10^3 Bq \cdot L^{-1}$ であることから摂取3日後の

(令和5年度) 第1種実務

摂取量 Bq 当たりの Bq/L は、 $2.0 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ であるので吸入摂取したトリチウム量は、 $1.0 \times 10^3 \div 2.0 \times 10^{-2} = 5.0 \times 10^4 \text{ Bq}$ となる。

イ：アの結果から、トリチウム水の吸入摂取した場合の実効線量係数を表 1 から選択すると $1.8 \times 10^{-8} \text{ mSv/Bq}$ となる。

摂取したトリチウム量が、 5.0×10^4 であったので $5.0 \times 10^4 \times 1.8 \times 10^{-8} = 9.0 \times 10^{-4} \text{ mSv}$ となる。