

令和6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。

問 1 放射線計測における不確かさに関する次の 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。ただし、半減期は計数時間に比べて十分に長く、放射能の減衰は無視し得るものとする。

I 放射性壊変は確率的な事象であり、放射性核種（壊変定数 $\lambda[\text{s}^{-1}]$ ）の個々の原子核が、観測時間 $t[\text{s}]$ の間に壊変する確率 p は A で表される。原子核数が n のとき、 t の間の壊変数が x となる確率 $P(x)$ は、平均値を pn とする 2 項分布に従う。通常、 n は非常に大きい値であるため、2 項分布はポアソン分布で近似され、さらに pn が 20 ないし 30 以上のとき、ポアソン分布は、同じく pn を平均値とする正規分布（ガウス分布とも呼ばれる）で近似される。 $P(x)$ は pn を平均値とする正規分布で近似され、次式で表される。

$$P(x) = \text{input B} \quad (1)$$

$P(x)$ の標準偏差は C である。この値は、次式で定義される分散の平方根として与えられる。

$$\text{分散} = \text{input D} \quad (2)$$

放射線計測においては、計数値が正規分布に従う集団から抽出された値であると仮定し、その集団の標準偏差の予測値をもって計数値の不確かさ（標準不確かさと呼ばれる）とすることが慣例となっている。

<A の解答群>

- 1 $\lambda t(1 - e^{-\lambda t})$ 2 $1 - e^{-\lambda t}$ 3 $e^{-\lambda t}$ 4 $\ln \lambda t e^{-\lambda t}$ 5 $\ln \lambda t (1 - e^{-\lambda t})$

<B の解答群>

- 1 $p(1-p)^{x-1}$ 2 $\frac{n!}{(n-x)!x!} p^x (1-p)^{n-x}$ 3 $\frac{1}{\sqrt{2\pi pn}} e^{-\frac{(x-pn)^2}{2pn}}$ 4 $\frac{(pn)^x e^{-pn}}{x!}$

<C の解答群>

- 1 \sqrt{pn} 2 $\sqrt{\frac{1}{pn}}$ 3 $\sqrt{e^{-pn}}$ 4 $\sqrt{\frac{2\pi}{pn}}$ 5 $\sqrt{2\pi pn}$

<D の解答群>

- 1 $\sum_{x=0}^n pn \cdot P(x)$ 2 $\sum_{x=0}^n (x - pn) \cdot P(x)$ 3 $\sum_{x=0}^n (pn)^2 \cdot P(x)$
4 $\sum_{x=0}^n (x - pn)^2 \cdot P(x)$ 5 $\sum_{x=0}^n (x - pn)^2 \cdot P(x)^2$

[解答] I A-2 B-3 C-1 D-4

[解説]

A: 放射性壊変の式 $N=N_0e^{-\lambda t}$ における $e^{-\lambda t}$ は、原子核が t [s]間に崩壊しないで残る確率を示す。

したがって、この間に壊変する確率は $p=1-e^{-\lambda t}$ となる。

B、C: n の値が非常に大きく、確率 $P(x)$ を正規分布に近似できるとき、標準偏差は平均値 pn の平方根に等しいとみなすことができる。したがって、正規分布の確率密度関数の式より、 $P(x) =$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi pn}} e^{-\frac{(x-pn)^2}{2pn}}$$
 となる。

D: 確率変数の分散の式より、分散 $= \sum_{x=0}^n (x-pn)^2 \cdot P(x)$ となる。

II 測定量 y が、 N 個の入力量の関数 $f(z_1, z_2, \dots, z_N)$ で表されるとき、測定量 y の標準不確かさ (合成標準不確かさと呼ばれる) $u(y)$ は、入力量 z_i の標準不確かさを $u(z_i)$ とすると、次の式で計算される。ただし、入力量は互いに独立と仮定する。

$$u(y)^2 = \sum_{i=1}^N \{c_i u(z_i)\}^2 \quad (3)$$

係数 c_i は感度係数と呼ばれる。入力量 z_i が変化したとき、測定量 y がどれだけ変化するかを表す値である。数学的には、点 (z_1, z_2, \dots, z_N) における $f(z_1, z_2, \dots, z_N)$ の、 z_i についての $\boxed{\text{E}}$ で与えられる。

(3)式は不確かさの伝播則と呼ばれる。

具体例を示す。ある試料を計数効率(計数率/壊変率) 0.100 ± 0.003 の放射線測定器で計測し、正味の計数率 $100 \pm 2 \text{ s}^{-1}$ が得られたとする。正味の計数率を入力量 z_1 、計数効率を入力量 z_2 とすると、試料の放射能 y は次式で求められる。

$$y = \frac{z_1}{z_2} \quad (4)$$

上式より、試料の放射能 $1,000 \text{ s}^{-1} (\text{Bq})$ が得られる。次に、放射能の合成標準不確かさ $u(y)$ を計算する。(3)式は以下の(5)から(7)式のように書き表される。

$$u(y)^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial z_1} \right)^2 u(z_1)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial z_2} \right)^2 u(z_2)^2 \quad (5)$$

$$\left| \frac{\partial y}{\partial z_1} \right| = \frac{1}{z_2} \quad (6)$$

$$\left| \frac{\partial y}{\partial z_2} \right| = \boxed{\text{F}} \quad (7)$$

$z_1=100 \text{ s}^{-1}$ 、 $z_2=0.100$ における感度係数の絶対値は、 z_1 について $\boxed{\text{ア}}$ 、 z_2 について $10,000 \text{ s}^{-1}$ となる。 $u(z_1)=2 \text{ s}^{-1}$ 、 $u(z_2)=0.003$ より、放射能の合成標準不確かさ $\boxed{\text{イ}} \text{ s}^{-1} (\text{Bq})$ が得られる。

(令和6年度) 第1種実務

これは比較的単純な例であるが、測定量が、2個より多い入力量の複雑な関数となる場合であっても、(3)式で表された伝播則に立ち帰ることにより不確かさを正しく評価することができる。

最終的な不確かさとして、単に合成標準不確かさが報告されることが多い。一方で、標準線源の校正証明書に見られるように、合成標準不確かさ u を定数倍した不確かさ(拡張不確かさと呼ばれる) $U=ku$ が用いられる場合もある。定数 k は **G** 係数と呼ばれる。真の値が、校正値 $\pm U$ に入る確率をおおよそ 95% とする場合、 k として **ウ** が選ばれる。

<Eの解答群>

- | | | |
|---------|--------|--------|
| 1 偏微分係数 | 2 誤差関数 | 3 相関係数 |
| 4 分散関数 | 5 回帰係数 | 6 評価関数 |

<Fの解答群>

- | | | | |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 1 $\frac{1}{z_1}$ | 2 z_1 | 3 $z_1 \cdot z_2$ | 4 $\frac{z_2}{z_1}$ |
| 5 $\frac{z_1}{z_2}$ | 6 $\frac{z_2}{z_1^2}$ | 7 $\frac{z_1}{z_2^2}$ | |

<ア、イの解答群>

- | | | | | |
|--------|-------|-------|--------|--------|
| 1 0.01 | 2 0.2 | 3 0.5 | 4 1 | 5 3 |
| 6 6 | 7 10 | 8 18 | 9 24 | 10 36 |
| 11 52 | 12 64 | 13 86 | 14 110 | 15 140 |

<Gの解答群>

- | | | |
|------|------|------|
| 1 拡張 | 2 感度 | 3 許容 |
| 4 信頼 | 5 包含 | 6 補正 |

<ウの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|-----|--------|
| 1 1.25 | 2 1.65 | 3 2 | 4 2.58 |
| 5 3 | 6 4 | 7 5 | |

[解答] II E-1 F-7 ア-7 イ-10 G-5 ウ-3

[解説]

$$F: \left| \frac{\partial y}{\partial z_2} \right| = \frac{y}{z_2} = \frac{z_1}{z_2^2}$$

$$ア: \frac{1}{z_2} = \frac{1}{0.100} = 10$$

イ: (5)式に各値を代入すると $u(y)^2=400+900=1300$ 、よって $u(y) \doteq 36$ となる。

ウ: 全測定値は、包含係数 $k=1, 2, 3$ のとき、それぞれ 68.3%、95.5%、99.7%が「校正値 $\pm U$ 」に含まれる。

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 荷電粒子を加速する装置は、一般的に「加速器」と呼ばれている。当初は原子核の研究分野で開発が進み、次第に工業や医療などの分野でも使用されるようになった。これらの加速器は、「放射性同位元素等の規制に関する法律」(放射性同位元素等規制法)において、放射線発生装置として定義されている。加速方式の異なる複数の加速器に対して、装置表面から10 cm離れた位置における1cm線量当量率が \boxed{A} nSv・h⁻¹ を超えるものが規制の対象となる。ただし、エネルギーが1 MeV未満の \boxed{B} を発生するものは対象外となる。国内における放射線発生装置の利用は、圧倒的に医療機関が多く、その大半は \boxed{C} である。

<A、Bの解答群>

- | | | | |
|-----------|--------|----------|--------------|
| 1 200 | 2 400 | 3 600 | 4 800 |
| 5 電子線及びX線 | 6 中性子線 | 7 重荷電粒子線 | 8 γ 線 |

<Cの解答>

- | | |
|-----------|-------------------|
| 1 直線加速装置 | 2 サイクロトロン |
| 3 シンクロトロン | 4 シンクロサイクロトロン |
| 5 ベータトロン | 6 ファン・デ・グラーフ型加速装置 |
| 7 蓄積リング | |

〔解答〕 I A-3 B-5 C-1

〔解説〕

A : 600 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(平成十二年十月二十三日号外 科学技術庁告示第五号)第二条において、令第二条各号列記以外の部分に規定する線量当量率は、一センチメートル線量当量率について六百ナノシーベルト毎時とする。と規定される。

B : 電子線及びX線 核燃料物質、核原料物質、原子炉及び放射線の定義に関する政令第四条に定めのあるとおり。

C : 直線加速装置 国内医療機関における放射線発生装置の多くは直線加速装置で、主に癌治療を目的に利用されている。

II 放射線発生装置の安全管理においては、使用する放射線発生装置の使用目的や施設の規模などに応じて、発生する放射線及び放射性核種に関する知識並びに法令に基づく適切な管理体制が求められる。放射線発生装置稼働したときに発生する放射線は、以下のように分類できる。

- (1) 加速される荷電粒子線
- (2) (1)の放射線がターゲット物質などと直接相互作用して発生する放射線
- (3) (1)及び(2)の放射線により生成した放射性核種の壊変に伴い発生する放射線

加速粒子が電子の場合、(2)の放射線として \boxed{D} 線が発生する。 \boxed{D} 線のエネルギーが、ターゲット物質などを構成する原子核の核子当たりの平均結合エネルギーより大きくなると、光核反応により速中性子が発生し、放射性核種が生成される。 \boxed{D} 線が空気と光核反応を起こした場合、速

(令和6年度) 第1種実務

中性子が発生するとともに短半減期の放射性核種である ^{13}N 及び ^{15}O が生成される。また、照射室内で減速した中性子は、ターゲット物質および照射室内の機器を構成する原子核と捕獲反応などを起こして放射性核種を生成する。例えば、照射室の遮蔽壁で使用されている鉄筋コンクリートを構成する原子核との (n, γ) 反応により生成される主な放射性核種には、**E**、 ^{134}Cs 、 ^{152}Eu などがあり、また、 (n, p) 反応により ^{54}Mn が生成される。鉄筋コンクリート中に生成されるこれらの半減期の長い放射性核種は、特に大強度の中性子を発生する加速器施設の **F** 時に問題となる。

一方、加速粒子が重荷電粒子である場合、例えば、エネルギーが 200 keV 以下の重水素イオンとトリチウムターゲットとの衝突により、エネルギーが約 14 MeV の中性子が発生する。この場合も、ターゲット物質などの放射化とともに、照射室内で減速して生成した熱中性子と空気との捕獲反応により半減期 1.83 h の **G** が生成される。**G** は主として **H** による被ばくをもたらすので、空気の放射化による残留放射能の監視が重要となる。例えば、放射線発生装置を停止した時点で、照射室で生成された **G** の空気中放射能濃度が法令で定める空気中濃度限度の 1.4 倍である場合、**I** h 経過後に濃度限度を下回る。ただし、照射室は外部との換気が無い密閉された状態とする。

放射性同位元素等規制法では、放射線発生装置から発生した放射線により生じた放射線を放出する同位元素によって汚染された物を **J** として規定しており、その適切な安全管理が求められる。

<D の解答群>

- | | | | |
|------------|-----------|------------|------------|
| 1 α | 2 β | 3 γ | 4 δ |
| 5 制動放射 | 6 中性子 | 7 荷電粒子 | |

<E~G の解答群>

- | | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 1 ^{20}Ne | 2 ^{27}Al | 3 ^{40}Ar | 4 ^{41}Ar | 5 ^{55}Mn |
| 6 ^{56}Fe | 7 ^{59}Co | 8 ^{60}Co | 9 ^{84}Kr | 10 ^{133}Cs |
| 11 照射準備 | 12 稼働 | 13 定期点検 | 14 廃止 | |

<H、I の解答群>

- | | | | |
|-----------|---------|--------|-----------|
| 1 0.71 | 2 0.92 | 3 1.4 | 4 1.8 |
| 5 2.5 | 6 3.5 | 7 吸入摂取 | 8 皮膚からの吸収 |
| 9 サブマージョン | 10 経口摂取 | | |

<J の解答群>

- | | | |
|-----------|-------------|--------|
| 1 汚染物 | 2 特定放射性同位元素 | 3 放射化物 |
| 4 放射性同位元素 | 5 放射性廃棄物 | |

〔解答〕 II D-5 E-8 F-14 G-4 H-9 I-2 J-3

〔解説〕

D：制動放射線 加速された荷電粒子がターゲット物質の原子核の近傍を通過する際、ターゲット物質の強い電磁界によって減速させられ、その時に失ったエネルギーを T 線として放出する。

E： ^{60}Co コンクリート中に存在する天然（安定同位体）の ^{59}Co が存在しており、 $^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$ で生成される。

(令和6年度) 第1種実務

F：廃止 鉄筋コンクリート内で生成される主な放射性核種の半減期は、 ^{60}Co ：5.2712年、 ^{134}Cs ：2.0652年、 ^{152}Eu ：13.517年、 ^{54}Mn ：312.20日と比較的長いため加速器を停止したのちも存在するため、施設廃止時に問題となる。

G： ^{41}Ar 空气中に存在する ^{40}Ar の (n, γ) 反応によって ^{41}Ar が生成される。

H：サブマージョン ^{41}Ar は放射性貴ガスである。放射性貴ガスが人の周囲にあると、吸入により身体組織に放射性物質が集積することによる線量よりも、体外又は肺の中の放射性気体からの線量の方がはるかに大きくなる(体内摂取が少ないため。なお、量の大小に関する表現は相対的に考える)。このような核種を「サブマージョン」とよぶ。

I： $N=N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ を使用し展開すると

$t = -\ln(N/N_0)/\lambda$ であるので、

$t = -\ln(1/1.4)/(0.693/1.83) \approx 0.89$ となる。

解答群で、0.89h以上の経過時間で最も近いのは0.92である。

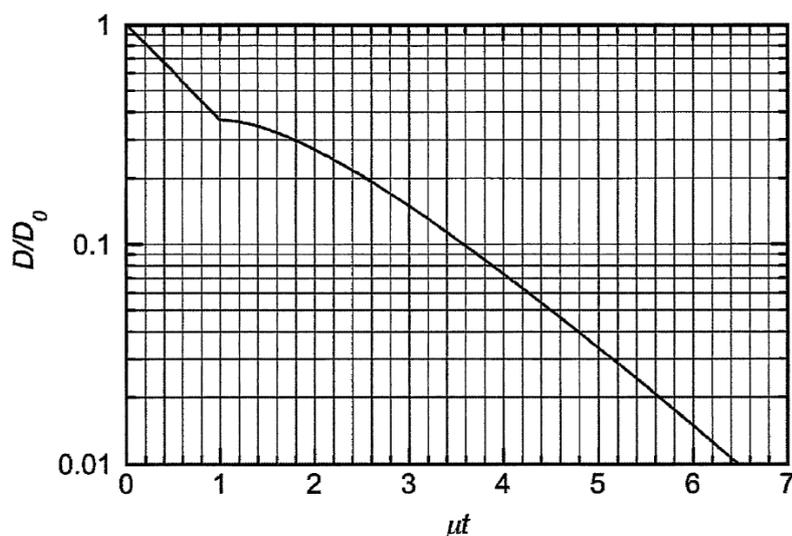
J：放射化物 放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則 第十四条の七第七の二項に定めのとおり。

問3 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 ある事業所は、サイクロトロンで厚さ0.50 mmのクロム板にエネルギー15 MeVの陽子を照射して ^{52}Mn (半減期5.6日)を製造し、これを頒布している。この放射性同位元素を他の事業所へL型輸送物として運搬する計画を立てた。運搬するのは9 MBqの ^{52}Mn のみを含むクロム板である。この輸送物の放射能は、L型輸送物として運搬できる固体状放射性同位元素の放射能の制限値である A_2 値の□Aを超えていない。L型輸送物として運搬するためには、輸送物表面における1cm線量当量率の最大値が□ア $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ を超えないように梱包しなければならない。9 MBqの ^{52}Mn を含むクロム板を鉛製円筒容器に入れ、これを1辺が60 cmの箱の中央において運搬する。この時に必要な鉛容器の厚さについて考察する。厚さ t [cm]、線減弱係数 μ [cm^{-1}]の遮蔽体を透過した後の γ 線による線量 D は近似的に次式で表される。

$$D = D_0 \cdot B \cdot e^{-\mu t}$$

ここで、 D_0 は遮蔽体を透過する前での線量であり、 B はビルドアップ係数と呼ばれる。鉛遮蔽体の場合、およその目安として、 $\mu t < 1$ のときは $B=1$ 、 $\mu t \geq 1$ のときは $B=\square B$ とみなすことができる。下図は、前述の目安に従い D/D_0 と μt との関係を示したものである。



この図より、L型輸送物として運搬するためには、少なくとも厚さ cm の鉛容器が必要であることが分かる。なお、 ^{52}Mn は点線源とみなし、 ^{52}Mn の 1cm 線量当量率定数を $0.51 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 γ 線に対する鉛の線減弱係数を 0.58cm^{-1} とする。線量率の基準が満たされていることは測定により確認する必要があるが、 式サーベイメータは、この目的に適した機器である。

<A の解答群>

- 1 1/10 2 1/20 3 1/200 4 1/1000 5 1/2000

<ア の解答群>

- 1 1 2 5 3 10 4 30 5 50

<B の解答群>

- 1 $1/\mu t$ 2 $1/(1 + \mu t)$ 3 $2/\mu t$ 4 μt 5 $\mu t/2$

<イ の解答群>

- 1 1.4 2 2.7 3 5.4 4 6.4 5 7.7

<C の解答群>

- 1 NaI(Tl)シンチレーション 2 ガスフロー比例計数管
3 端窓型 GM 計数管 4 ZnS(Ag)シンチレーション

〔解答〕 I A-4 ア-2 B-4 イ-4 C-1

〔解説〕

A、ア：運搬する試料はクロム板であることから、「放射性同位元素等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示」によって規定された「特別形放射性同位元素等以外のもの」に相当すると考えられる。このことから A_2 値の千分の一が制限値である。また L 型輸送物の表面線量当量率の最大値は $5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ である。

B：ビルドアップ係数の目安として $\mu t < 1$ の場合は $B=1$ 、 $\mu t > 1$ のときは $B = \mu t$ とみなせる。

イ：問題中の図から D/D_0 と μt の関係を用いて鉛の厚さを求める。

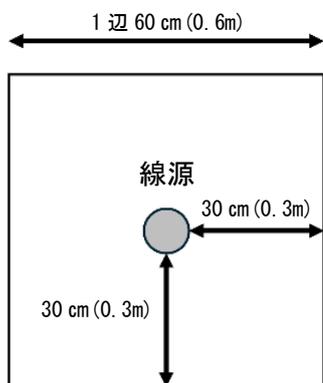


図 3-1. 箱表面と線源の位置関係

左図のように 1 辺 60 cm の立方体型の箱に線源を中央に設置するので、線源から箱表面の距離は 30 cm (0.3 m) になる。この箱表面において $5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ を超えないようにすることから、

$$D = 5 \mu\text{Sv h}^{-1}$$

$$D_0 = 0.51 \mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1} \times 9 \text{MBq} / (0.3 \text{m})^2$$

なので、

$$D/D_0 = 0.098 \dots \approx 0.1$$

となり、図から読み取れる μt の値は約 3.6 であることから μ に 0.58cm^{-1} を代入して

$$t = 3.6 / 0.58 \approx 6.2$$

となる。従って、選択肢の中で最も近い値である選択肢 4 の 6.4 が最も適切な値となる。

C: ^{52}Mn は中性子不足核種であるため β^+ 壊変または EC 壊変する。壊変に伴って放出される放射線は主に 511 keV の消滅放射線と 1434 keV の γ 線なので、NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータが最も適しているといえる。

II ^{52}Mn を受け入れた事業所は、受入日、種類・化学形、数量等を帳簿に記録し、速やかに保管する。放射線取扱主任者は、この ^{52}Mn の使用計画書に基づき、施設内における使用の場所で **D** を超えていないか、作業による被ばくの程度等を確認し、適宜、使用者にアドバイスを行う。

作業は、まず、クロム板を酸溶液で溶解し、 ^{52}Mn を化学処理により分離する。あらかじめ、**E** を使わないコールドランを行い、作業手順を見直すとともに習熟することが推奨される。これにより、汚染の防止や被ばく線量の低減につながる。

溶解後の ^{52}Mn を含む少量の溶液を γ 線スペクトロメトリにより定量し、下限数量以下であることを確認して、管理区域外の実験室で使用する。 ^{52}Mn のようにエネルギーの異なる複数の γ 線を放出する核種を定量する時は、サム効果の補正が必要ながある。この補正が困難な場合は、**F** とよい。このような管理区域外での使用は、原子力規制委員会の許可を受けた後でなければならない。また、**G** の届出は変更の日から 30 日以内にしなければならない。当該実験室では、あらかじめ決められた使用方法に従って使用し、持ち帰ることのできる全ての ^{52}Mn は、速やかに **H**。固体状の汚染物も同様である。

<D、E の解答群>

- | | | |
|------------|------------|------------|
| 1 1日最大保管数量 | 2 1日最大使用数量 | 3 1日最大廃棄数量 |
| 4 1日最大分取数量 | 5 放射性物質 | 6 ガラス器具 |
| 7 化学薬品 | 8 担体 | |

<F の解答群>

- 1 試料体積を小さくする
- 2 測定時間を短くする

- 3 測定時間を長くする
- 4 試料を検出器に近づけて測定する
- 5 試料を検出器から遠ざけて測定する

<Gの解答群>

- 1 軽微な変更に係る変更届
- 2 放射線障害予防規程変更届
- 3 使用の場所の一時的変更届
- 4 変更許可申請書

<Hの解答群>

- 1 当該実験室で廃棄しなければならない
- 2 当該実験室の施錠できる棚に保管しなければならない
- 3 放射線管理担当者に引き渡さなければならない
- 4 管理区域に移さなければならない

[解答] II D-2 E-5 F-5 G-2 H-4

[解説]

D: 1日最大使用数量を超えてはならない。

E: 実際の実験操作と同一で放射性物質を使わない実験をコールドランという。

F: サム効果は複数の γ 線が同時に検出器有感部に到達することが原因であることから、線源と相対する検出器表面での放射線密度を減ずればサム効果を抑えられることになるため、試料を検出器から遠ざけて測定すればよい。

G: 管理区域外で下限数量以下の非密封RIを使用する場合、原子力規制委員会の許可を受けた後に予防規定の変更の日から30日以内に届出を原子力規制委員会に行う。

H: 「管理区域外使用場所」で使用したRIの残りおよび固体状の汚染された廃棄物は、使用の都度、管理区域内に持ち帰る必要がある。

問4 次の文章は、非密封の放射性同位元素を使用しているある事業所での放射線管理についての日誌の一部である。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 4月6日 初回教育訓練時に配布するサブテキスト(項目:安全についての考え方)の確認

□A: 1つの重大な事故に至るには、数十件の軽微な事故、更には数百件のヒヤリ・ハット事例が背景にあるという経験則。事故を未然に防ぐためには、平素からヒヤリ・ハット事例の発見に努めることが大切であることを物語っている。

組織の体制整備: 施設や設備が常に安全な状態にあり、作業が人為的な危険を招かないよう、常に業務の改善を図る努力が必要である。そのためには、組織的な体制を整備することが不可欠である。放射性同位元素等規制法により、特定許可使用者及び許可廃棄業者に対し□Bに定めるべき事

(令和6年度) 第1種実務

項の一つとして、マネジメント層を含む放射線障害の防止に関する業務の改善に関する組織及び責任者を規定することが求められている。

<A、Bの解答群>

- | | | |
|-------------|--------------------------|-------------|
| 1 アナウンス効果 | 2 安全神話 | 3 正常性バイアス |
| 4 ハインリッヒの法則 | 5 マーフィーの法則 | 6 バタフライ効果 |
| 7 安全対策書 | 8 放射性同位元素の使用届 | 9 放射線障害予防規程 |
| 10 放射線防護計画書 | 11 法人の定款 ^{ていかん} | |

〔解答〕 I A-4 B-9

〔解説〕

A：「ハインリッヒの法則」労働災害の分野でよく知られている、事故の発生についての経験則。1件の重大事故の背後には、重大事故に至らなかった29件の軽微な事故が隠れており、さらにその背後には事故寸前だった300件の異常、いわゆるヒヤリハット（ヒヤリとしたりハッとしたりする危険な状態）が隠れているというもの。「1：29：300の法則」とも呼ばれる。

「アナウンス効果」中央銀行や政治家、金融政策当局側の意図を経済主体に発言、周知することにより、経済主体の行動に影響を与える効果。

「安全神話」確実な証拠や裏付けがあるわけではないが、安全だと信じられている事柄。

「正常性バイアス」社会心理学、災害心理学などで使用されている心理学用語で、正常化の偏見、正常への偏向、日常性バイアスともよばれる。

「マーフィーの法則」仕事や日々の生活の中で誰もが経験するような話を、愉快で哀愁に富む経験則としてまとめたもの。あくまで経験則に過ぎず、必ずしも事実であるとは限らない。

「バタフライ効果」非常に小さな出来事が、最終的に予想もしていなかったような大きな出来事につながる事。

B：放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則第二十一条十五 放射線障害の防止に関する業務の改善に関する事（特定許可使用者及び許可廃棄業者に限る。）。

II 4月13日 密封線源の新規の使用についての事前打合せ

X 研究員からの密封線源の新規使用についての問い合わせ内容は次の通り。現在、管理区域を設定していない一般の実験室に ECD 付ガスクロマトグラフ 1 台（、370 MBq の密封線源を使用）と陽電子消滅寿命測定装置 1 台（、1.85 MBq の密封線源を使用）を 1 年後に設置予定とのこと。放射線管理室からのコメント並びにアドバイスは以下の通り。

- ・床が老朽化しており、将来、非密封線源の使用室として利用する可能性もあるので への貼り替えを提案。
- ・管理区域の境界での実効線量が法令の定める値以下となるように管理区域を設定する必要があることを説明。管理区域を実験室の中に設定出来るように、使用時間・・測定装置の設置場所を変えて実験室内の実効線量分布を試算することを提案した。

引き続き、打合を継続することとした。

<C、Dの解答群>

- | | | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 1 ^3H | 2 ^{14}C | 3 ^{22}Na | 4 ^{24}Na |
| 5 ^{32}P | 6 ^{33}P | 7 ^{60}Co | 8 ^{63}Ni |

<E、Fの解答群>

- | | | | |
|-----------|----------|------------|-----------|
| 1 コンクリート | 2 フローリング | 3 長尺ビニルシート | 4 フロアマット |
| 5 立入禁止の標識 | 6 遮蔽の方法 | 7 盗難アラーム | 8 インターロック |

[解答] II C-8 D-3 E-3 F-6

[解説]

C: ECD付ガスクロマトグラフの線源は、 ^{63}Ni の利用が主である。

D: 陽電子(β^+ 壊変)を放出する核種は ^{22}Na のみ。

^3H 、 ^{14}C 、 ^{24}Na 、 ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{60}Co 、 ^{63}Ni は β^- 壊変

E: 「将来、非密封線源の使用室として利用する可能性」と記載されているため、床材や天井などは、除染しやすい材質を選ぶ。長尺ビニルシート(塩化ビニルシート)は耐水性に優れており、接続部を溶接することで、汚染の浸透や拡大防止となる。

F: 放射線防護の3原則「時間、遮へい、距離」。

III 10月2日 α 線放出核種の新規の使用についての相談

Y 研究員から非密封の α 線放出核種 ^{210}Po のトレーサー実験について相談を受けた。実施希望時期は来年度以降。最大使用数量は1日当たり60 kBq、3月当たり360 kBq、年間で600 kBq。使用目的はトレーサー実験によるポロニウムの化学分離法の開発とのこと。

事業所で初めての非密封の α 線放出核種の使用であり、 α 線放出核種は排水の濃度限度が極めて厳しく設定されていることを説明した。また、現在の主要な使用核種の一つは ^3H であり、スミア法による表面汚染密度の測定に カウンタを用いているが、 ^{210}Po による表面汚染を直接測定するために 式サーベイメータなどのモニタリング機器の充実が必要なことについても触れた。

相談終了後、排水計画への ^{210}Po 使用の影響を試算した。本事業所は貯留槽2基と希釈槽1基を有している。それぞれの容積は 10 m^3 である。1日に発生する排水量は 2.0 m^3 であり、4日ごとに排水の流入経路を一方から他方へ切り替えて運用する。4日分の排水の流入が完了した時点での貯留槽中の核種濃度は ^{210}Po 以外については既に計算済みであり、それぞれの核種の濃度限度に対する割合の和は0.6である。

^{210}Po の廃液は原則として保管廃棄とするが、この試算では排水に1日ごとに1日最大使用数量の1.0%が混入したと仮定する。4日分の貯留水中の ^{210}Po の排水中濃度の最大値は $\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-3}$ となる。この値は ^{210}Po の排水中濃度限度に対して1/2で、 ^{210}Po も含む全ての核種の排水中濃度の濃度限度に対する割合の和は1.1となり、希釈放流が必要となる可能性がある。

排水の流路をもう一方の貯留槽へ切り替えた後、この4日分の貯留水の1/2を希釈槽に移し、希釈槽を満水(10 m^3)として放流すると、放流水中の放射能濃度は排水中濃度限度の となる。なお、この試算では、希釈プロセスでの放射能の減衰は無視した。

(令和6年度) 第1種実務

以上の検討により、排水計画への影響が明らかとなった。排水中 ^{210}Po のモニタリング測定手順を含めて、重要課題の一つとして、引き続き検討することとした。

<G、Hの解答群>

- | | | |
|-------------------|-------------------|-------------|
| 1 BGOシンチレーション | 2 CsI(Tl)シンチレーション | 3 Ge検出器 |
| 4 GM計数管 | 5 NaI(Tl)シンチレーション | 6 Si(Li)検出器 |
| 7 ZnS(Ag)シンチレーション | 8 液体シンチレーション | |

<ア、イの解答>

- | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 7.5×10^{-5} | 2 1.6×10^{-4} | 3 3.0×10^{-4} | 4 6.4×10^{-4} | 5 9.2×10^{-4} |
| 6 2.4×10^{-3} | 7 5.5×10^{-3} | 8 8.2×10^{-3} | 9 0.38 | 10 0.44 |
| 11 0.76 | 12 0.88 | 13 0.98 | 14 1.0 | |

[解答] III G-8 H-7 ア-3 イ-10

[解説]

G: ^3H は β^- 壊変でエネルギー (18.6keV) が小さいため、液体シンチレーションカウンターで測定することが最適である。

H: ^{210}Po は α 線放出核出のため、表面汚染を直接測定するには、ZnS(Ag)シンチレーションカウンターが最適である。

ア: ^{210}Po の4日分における貯留水の排水中濃度の最大値は、1日最大使用数量 60kBq、混入率 1.0%、1日に発生する排水量 2.0m^3 から

$$\frac{4 \text{ 日間の使用数量(Bq)}}{4 \text{ 日間の排水量}(\text{cm}^2)} = \frac{60 \times 10^3 \times 0.01 \times 4}{2.0 \times 10^6 \times 4} = 3.0 \times 10^{-4}$$

となる。

イ: ^{210}Po を含む排水中の濃度限度に対する割合の和は 1.1。

4日分の貯留水 (8.0m^3) の $1/2$ を希釈槽に移すため 4m^3 、希釈槽の容積は 10m^3 であるため 6m^3 の希釈水を入れことが可能であるから

$$1.1 \times \frac{4}{4+6} = 0.44$$

となる。

問5 放射性カリウムに関する次の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 天然放射性核種 ^{40}K は、89%が最大エネルギー1.31 MeVの β^- 線を放出し A となり、11%が電子捕獲を経て1.46 MeVの γ 線を放出し B となる。

カリウムは必須元素であり、食物連鎖を介して様々な食物として経口摂取される。経口摂取され血中に入った後、多くは C 中に移行し排出されるが、一部は骨格筋を中心に細胞内に分布し筋収

縮などの重要な役割を果たしている。日本人の経口摂取による内部被ばく線量の最も大きい割合を占めている天然放射性核種は **D** であるが、 ^{40}K による内部被ばく線量もそれに次いで大きい割合を占めている。また、地殻に含まれる ^{40}K も大地放射線による外部被ばくの原因核種の一つであり、 ^{40}K は自然放射線源として重要な天然放射性核種の一つである。

<A、Bの解答群>

- 1 ^{39}Ar 2 ^{40}Ar 3 ^{39}K 4 ^{41}K 5 ^{40}Ca
6 ^{41}Ca

<Cの解答群>

- 1 尿 2 便 3 胆汁 4 汗 5 呼気

<Dの解答群>

- 1 ^3H 2 ^{14}C 3 ^{131}I 4 ^{210}Po 5 ^{235}U

[解答] I A-5 B-2 C-1 D-4

[解説]

A、B： ^{40}K の壊変図式は下図のとおり。

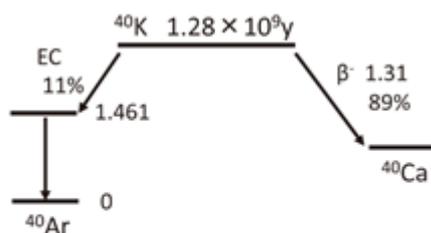


図5-1. ^{40}K の壊変図式

C：血中にあるものを体外に排出する場合、多くは腎臓を介し尿として排出する。

D： ^{210}Po による経口摂取が日本人の内部被ばくの大きな割合を占める。日本人は世界的に見ても魚介類の摂取量が多く、魚介類の ^{210}Po の放射能濃度が他の食品と比較して高いことから、食習慣に起因していると考えられている。

II 経口摂取した放射性核種による内部被ばく線量は、体内動態と臓器の解剖学的配置を考慮して算出する。しかし、臓器の吸収線量計算は大変複雑である。一般的には、標準人の人体の解剖学的な臓器の位置関係を数学ファントムとして表現する。この数学ファントムを利用し、放射性核種が集積して放射線を放出する臓器から、その放射線を吸収する臓器への単位放射能当たりの線量寄与を、放射線輸送のシミュレーション計算により求める。最終的に、体内動態から求めた集積臓器の積分放射能と対象とする臓器への線量寄与の関係を用いて、内部被ばく線量を評価する。

ここでは、人体内に広く分布する ^{40}K について、年間の内部被ばくによる全身の吸収線量[$\mu\text{Gy}/\text{年}$]を次の手順で概算する。

まず、ある成人(体重60kg)の体内の ^{40}K の放射能をホールボディカウンタで測定した。このホールボディカウンタでは、体内で放出される光子が、大型の **E** で測定される。体内のカリウムの量

[g]は、既知量の塩化カリウム溶液を封入した人体ファントムの測定値との比較で計算した。その結果、この成人の体内のカリウム量は、150 gであった。カリウムの原子量を39.1、 ^{40}K の同位体存在度を0.012%として、この成人の体内に存在する ^{40}K の物質量を[ア] mol と算出した。[ア] mol の ^{40}K の放射能は、 ^{40}K の半減期を 1.3×10^9 年、1年を 3.2×10^7 秒、アボガドロ定数を $6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ とすることにより、 $4.6 \times 10^3 \text{ Bq}$ と算出される。

この成人の体内に存在する ^{40}K から放出される γ 線の数、毎秒 5.1×10^2 個である。この γ 線のエネルギーの1/3が体内で吸収されると仮定すると、 γ 線による1年間の吸収エネルギーは、[イ] J/年と算出される。ただし、1 MeV を $1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$ とする。したがって、 γ 線による1年間の全身の吸収線量は[ウ] $\mu\text{Gy}/\text{年}$ と求められる。一方、この成人の体内に存在する ^{40}K から放出される β^- 線の数、毎秒 4.1×10^3 個である。 β^- 線の平均エネルギーを0.58 MeV とし、その全てが体内で吸収されると仮定すると、 β^- 線による1年間の吸収エネルギーは、[エ] J/年と算出される。したがって、 β^- 線による1年間の全身の吸収線量は[オ] $\mu\text{Gy}/\text{年}$ と求められる。なお、特性X線、オージェ電子等、他の放射線の吸収線量への寄与は無視し得るほど小さい。

<Eの解答群>

- | | |
|------------|----------------------|
| 1 Si半導体検出器 | 2 NaI(Tl)シンチレーション検出器 |
| 3 電離箱 | 4 ガスフロー比例計数管 |

<ア～ウの解答群>

- | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 12×10^{-4} | 2 4.6×10^{-4} | 3 7.6×10^{-3} | 4 1.3×10^{-3} | 5 6.7×10^{-2} |
| 6 9.2×10^{-2} | 7 8.0×10^{-1} | 8 1.0×10^0 | 9 2.3×10^0 | 10 2.2×10^1 |
| 11 5.2×10^1 | 12 8.3×10^1 | 13 3.3×10^2 | 14 4.6×10^2 | 15 6.5×10^2 |

<エ、オの解答群>

- | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 3.5×10^{-3} | 2 6.7×10^{-3} | 3 9.2×10^{-3} | 4 1.2×10^{-2} | 5 4.8×10^{-2} |
| 6 7.6×10^{-2} | 7 5.0×10^{-2} | 8 1.0×10^0 | 9 5.0×10^0 | 10 5.8×10^1 |
| 11 1.1×10^2 | 12 1.5×10^2 | 13 2.0×10^2 | 14 8.0×10^2 | 15 1.3×10^3 |

[解答] II E-2 ア-2 イ-4 ウ-10 エ-4 オ-13

[解説]

E：ホールボディカウンタの検出器はNaI(Tl)シンチレーション検出器やGe半導体が使用される。

ア： $150 \div 39.1 \times 0.012 \times 10^{-2} \approx 4.60 \times 10^{-4} [\text{mol}]$

イ：MeV から J に単位変換 $1.46 \times 1.6 \times 10^{-13} \approx 2.33 \times 10^{-13} [\text{J}/\text{個}]$

1年間あたりの γ 線は $5.1 \times 10^2 \times 3.2 \times 10^7 \approx 1.63 \times 10^{10} [\text{個}/\text{年}]$

よって γ 線による1年間の吸収エネルギーは

$2.33 \times 10^{-13} \times 1.63 \times 10^{10} \div 3 \approx 1.26 \dots \times 10^{-3} \approx 1.3 \times 10^{-3} [\text{J}/\text{年}]$

ウ：1 [Gy]=1 [J/kg]より

$1.3 \times 10^{-3} \div 60 \approx 2.16 \dots \times 10^{-5} \approx 2.2 \times 10^{-5} [\text{Gy}/\text{年}] = 2.2 \times 10^1 [\mu\text{Gy}/\text{年}]$

エ：MeV から J に単位変換

$0.58 \times 1.6 \times 10^{-13} = 9.28 \times 10^{-14} [\text{J}/\text{個}]$

1年間あたりの β^- 線は

$$4.1 \times 10^3 \times 3.2 \times 10^7 = 1.31 \times 10^{11} [\text{個/年}]$$

よって β^- 線による1年間の吸収エネルギーは

$$9.28 \times 10^{-14} \times 1.31 \times 10^{11} = 1.215 \dots \times 10^{-2} \approx 1.2 \times 10^{-2} [\text{J/年}]$$

オ: 1 [Gy]=1 [J/kg]より

$$1.2 \times 10^{-2} \div 60 = 2.00 \times 10^{-4} [\text{Gy/年}] \text{ よって } 2.00 \times 10^2 [\mu\text{Gy/年}]$$

問6 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。

放射線防護は、外部被ばく及び内部被ばくの後における、電離放射線によって引き起こされる害から人と環境を防護するという一般的な目標を持つ。人の防護のためには、人体の外部と内部における放射線の量的な記述が必要である。国際放射線防護委員会(ICRP)が採用している線量評価の基礎となる物理量は、単位質量当たりに物質が放射線から受けたエネルギーである□A線量である。

人体に対する影響の現れ方は、同一の□A線量であっても、放射線の種類やエネルギーにより異なる。ある組織・臓器の防護量である□B線量は、その組織・臓器の体積にわたって平均された□A線量に放射線加重係数を乗じたものである。□B線量を□Cの誘発に対して感受性があると考えられる人体の全ての組織・臓器にわたって加重して合計したものが□D線量である。このときに用いられる加重係数を組織加重係数と呼ぶ。

組織加重係数は、ICRP2007年勧告では、14の組織・臓器に個別の値が与えられ、また、残りの14の組織・臓器(男性・女性それぞれに対する13の組織・臓器)を一括して、その算術平均線量に対して適用される1つの値が与えられている。その総和は□アとなる。また、例えば、生殖腺、脳、乳房、結腸、甲状腺の組織加重係数の大小関係は、□Eとなる。

線量限度は□B線量や□D線量で定められているが、これらは線量計等で直接測定できない量であり、防護量と呼ばれる。これに対し、外部被ばく管理のための計測可能な線量として、同一の被ばく条件下では□B線量や□D線量と比較して一般に□F値を示す実用量が、□Gによって定義され、ICRP2007年勧告に採用されている。場のモニタリングに用いる実用量は周辺線量当量、方向性線量当量であり、個人モニタリングに用いる実用量は個人線量当量である。ICRP2007年勧告では、個人線量当量を人体上のある特定の点における軟組織の深さ d における線量当量とする定義が採用され、□D線量の評価における深さ d の値として□イmmが、皮膚及び手足の□B線量の評価における深さ d の値として□ウmmが勧告されている。

<A~Dの解答群>

- | | | |
|---------|---------|---------|
| 1 実効 | 2 等価 | 3 預託 |
| 4 吸収 | 5 照射 | 6 発がん影響 |
| 7 遺伝性影響 | 8 確率的影響 | 9 組織反応 |

<アの解答群>

- | | | | | |
|--------|---------|-------|--------|-----|
| 1 0.01 | 2 0.027 | 3 0.1 | 4 0.27 | 5 1 |
|--------|---------|-------|--------|-----|

(令和6年度) 第1種実務

6 2.7 7 3 8 10 9 27 10 100

<Eの解答群>

- 1 脳 > 乳房 > 甲状腺 = 結腸 > 生殖腺
 2 生殖腺 > 乳房 = 脳 > 甲状腺 > 結腸
 3 結腸 > 乳房 = 脳 > 生殖腺 > 甲状腺
 4 結腸 > 生殖腺 > 乳房 > 甲状腺 = 脳
 5 乳房 = 結腸 > 生殖腺 > 甲状腺 > 脳
 6 乳房 = 結腸 > 脳 > 生殖腺 > 甲状腺

<F、Gの解答群>

- 1 上回らない 2 等しい 3 下回らない

- 4 国際原子力機関
 5 原子放射線の影響に関する国連科学委員会
 6 国際放射線単位測定委員会

<イ、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

〔解答〕 A-4 B-2 C-8 D-1 ア-5 E-5 F-3 G-6 イ-10 ウ-3

〔解説〕

A：放射線の影響を評価する概念には、物理量、実用量、防護量がある。端的に言うと以下のようになる。

物理量…測定器で直接測定可能な量

実用量…人体への影響を考慮した直接測定可能な量

防護量…人体への影響を考慮した直接測定不可能な量

物理量のうち、物質が単位質量当たりに放射線から吸収したエネルギーを吸収線量という。なおお照射線量は、放射線を空気 1kg 中に照射して生じた電荷量である。

B、C、D：防護量のうち、組織・臓器の吸収線量に放射線加重係数を乗じたものが等価線量であり、各等価線量に組織加重係数を掛けて合算したものが実効線量である。組織加重係数は、低線量での確率的影響の誘発に係る生物学的効果比 (RBE) を参考にして得られている。なお C は人体の全てについて問うているので、発がん影響及び遺伝的影響の選択肢は相応しくない。また組織反応は確定的影響を指す。

ア：組織加重係数 (w_T) は、全身の各臓器・組織に放射線の影響を重み付けして割り当てたものであるため、その総和は 1 になる。

表 組織加重係数の 2007 年勧告値

組織・臓器	w_T	Σw_T
骨髄 (赤色)、結腸、肺、胃、乳房、残りの組織	0.12	0.72

(令和6年度) 第1種実務

生殖腺	0.08	0.08
膀胱、食道、肝臓、甲状腺	0.04	0.16
骨表面、脳、唾液腺、皮膚	0.01	0.04
合計		1.00

E：ベルゴニー・トリボンドーの法則より、細胞分裂頻度の高い組織・臓器ほど放射線感受性は高い。また、組織加重係数 0.08 は生殖腺のみである。これらより選択肢 5 が適切であると判断できる。

F、G：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。この実用量は国際放射線単位測定委員会（ICRU：International Commission on Radiation Units and Measurements）によって定義されている。ICRP と併せて覚えてほしい。

イ、ウ：実効線量の評価には 1cm（10mm）線量当量が、皮膚及び手足の等価線量には $70\mu\text{m}$ （0.07mm）線量当量が用いられる。