

令和 7 年度

# 第 2 種放射線取扱主任者試験

## 問題と解答例

物理学 化学 生物学

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。

本解説例では、「[10 版 放射線取扱の基礎【第 1 種放射線取扱主任者試験の要点】\(日本アイソトープ協会\)](#)」の書籍は「第 1 種試験の要点 (JRIA)」と記載します。

次の問1から問10について、5つの選択肢のうち適切な答えを1つだけ選び、また、問11の文章の□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つだけ選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

---

問1 0.511 MeV の運動エネルギーを持つ電子の速度[m・s<sup>-1</sup>]として、最も近い値は次のうちどれか。

- 1  $1.55 \times 10^8$     2  $1.83 \times 10^8$     3  $2.10 \times 10^8$     4  $2.60 \times 10^8$     5  $2.94 \times 10^8$

〔解答〕 4

〔解説〕 光速に近い速度で運動する粒子を考えるときには、特殊相対性理論を適用しないといけない。相対論によれば、光速に近い速度  $v$  で運動している時の粒子の質量（相対論的質量）を  $m$ 、静止

ている時の静止質量  $m_0$  とすると、 $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$  となる。

また運動エネルギー  $K$  は、 $K = mc^2 - m_0c^2$      $K = m_0c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} - 1 \right)$  となる。

ここで題意より、 $K$ 、 $m_0c^2$  共に 0.511MeV であるので、両辺の  $K$ 、 $m_0c^2$  を相殺して、

$\frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} = 2$  となる。変形して、 $1 - (\frac{v}{c})^2 = \frac{1}{4}$ 、 $v^2 = \frac{3}{4}c^2$

この式に  $c = 3.0 \times 10^8$  (m/sec) を代入して、最終的に  $\sqrt{6.75} \times 10^8 = 2.6 \times 10^8$

問2 特性X線並びにオージェ電子に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A オージェ電子のエネルギーは線スペクトルを示す。  
 B 同一原子では、LX線のエネルギーはKX線のエネルギーより大きい。  
 C 蛍光収率は、原子番号の増加とともに増加する。  
 D 特性X線のエネルギーと、競合して放出されるオージェ電子のエネルギーは等しくなる。

- 1 AとB    2 AとC    3 BとC    4 BとD    5 CとD

〔解答〕 2

〔解説〕 軌道間の電子の遷移に伴いそのエネルギーが光子として放出される過程の他に、同じ軌道あるいは外側の軌道にある電子を放出される過程がある。これをオージェ効果と言い、放出される電子をオージェ電子という。

- A：正 オージェ電子も特性X線と同様に線スペクトルを示す。  
 B：誤 K殻の結合エネルギーとL殻の結合エネルギーの差は、L殻の結合エネルギーの絶対値より大きいので、KX線のエネルギーはLX線のエネルギーより高い。  
 C：正 X線を放出する割合を蛍光収率と言い、原子番号が大きくなると収率は大きくなる。  
 D：誤 特性X線放出とオージェ電子の放出は競合するが、それぞれのエネルギーは等しいとは限らない。

「第1種試験の要点 (JRIA) 」 I.物理学 p.4

問3 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A  $\alpha$  壊変と  $\beta^-$  壊変は同一核種では起きない。
- B  $\alpha$  壊変ではニュートリノが放出されない。
- C  $\beta^-$  壊変と  $\beta^+$  壊変は同一核種では起きない。
- D  $\beta^+$  壊変が起きる核種では競合して EC 壊変が起きる。

1 AとB      2 AとC      3 BとC      4 BとD      5 CとD

〔解答〕 4

〔解説〕

- A : 誤 例として、 $^{222}\text{Rn}$  の娘核種である  $^{218}\text{Po}$  は、99.98%が  $\alpha$  壊変して  $^{214}\text{Pb}$  に、そして極わずか0.02%が  $\beta^-$  壊変して  $^{218}\text{At}$  になる。(「アイソトープ手帳12版」(日本アイソトープ協会)p. 11)
- B : 正  $\alpha$  壊変では  $\alpha$  粒子(ヘリウムの原子核)の放出による壊変であり、ニュートリノや反ニュートリノは関与しない。 $\beta^+$  壊変ではニュートリノ、 $\beta^-$  壊変では反ニュートリノが放出され、エネルギーの一部がニュートリノの運動エネルギーとして分配される。
- C : 誤 例として、 $^{40}\text{K}$  は、89%が  $\beta^-$  壊変して  $^{40}\text{Ca}$  に、11%が EC 壊変して  $^{40}\text{Ar}$  に、そして極わずか0.001%が  $\beta^+$  壊変して  $^{40}\text{Ar}$  になる。(「アイソトープ手帳12版」(日本アイソトープ協会)p. 107)
- D : 正  $\beta^+$  壊変と EC 壊変は、主に陽子過剰核で起きる。

問4 次の現象のうち、ニュートリノもしくは反ニュートリノの放出を伴うものとして正しい組合せはどれか。

- A 軌道電子捕獲
- B 中性子の壊変
- C 電子・陽電子対消滅
- D 特性X線の放出

1 AとB      2 AとC      3 BとC      4 BとD      5 CとD

〔解答〕 1

〔解説〕 ニュートリノもしくは反ニュートリノは電荷を持たず、物質とほとんど相互作用しない。主に  $\beta^+$  壊変、 $\beta^-$  壊変、軌道電子捕獲(EC) 壊変の際に放出される。

- A : 正 軌道電子捕獲は、軌道を回っている電子が原子核に捕獲される現象であり、原子核内の陽子が中性子に変化する。その際にニュートリノが放出される。
- B : 正 単体で存在する中性子は、平均寿命が約15分程度で陽子と電子に崩壊し、ニュートリノを放出する。原子核内に存在する中性子は概ね安定である。

C：誤 電子・陽電子の対消滅では消滅放射線として 0.511MeV の光子が 2 本放出される。

D：誤 特性 X 線の放出は軌道電子の転移の際の軌道エネルギー準位の差に相当する光子が放出されるもので、ニュートリノもしくは反ニュートリノは関与しない。

問 5 次の 3 つの線源から放出される  $\gamma$  線のエネルギーについて、左から小さい順に並べたとき、正しいものはどれか

- |   |                   |                   |                   |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | $^{60}\text{Co}$  | $^{137}\text{Cs}$ | $^{241}\text{Am}$ |
| 2 | $^{60}\text{Co}$  | $^{241}\text{Am}$ | $^{137}\text{Cs}$ |
| 3 | $^{241}\text{Am}$ | $^{137}\text{Cs}$ | $^{60}\text{Co}$  |
| 4 | $^{241}\text{Am}$ | $^{60}\text{Co}$  | $^{137}\text{Cs}$ |
| 5 | $^{137}\text{Cs}$ | $^{241}\text{Am}$ | $^{60}\text{Co}$  |

〔解答〕 3

〔解説〕 放出される主な  $\gamma$  線エネルギーは、 $^{241}\text{Am}$  は 59.5 keV、 $^{137}\text{Cs}$  は 662 keV、 $^{60}\text{Co}$  は 1173 keV と 1332 keV である。(「アイソトープ手帳 12 版」(日本アイソトープ協会) p. 33, 67, 105)

問 6 制動放射線に関する次の記述のうち、正しいものの組み合わせはどれか。

- A ガンマ線より波長が長い。
- B エネルギースペクトルは連続スペクトルである。
- C 電子が原子と衝突するとき原子核から放出される。
- D 同じエネルギーの電子と陽子とでは、電子の方が制動放射線を出しやすい。

1 A と B      2 A と C      3 B と C      4 B と D      5 C と D

〔解答〕 4

〔解説〕 高速の電子は質量が小さいため、軌道電子や原子核との電気的相互作用によって散乱され、進行方向がしばしば大きく変化する。また原子核のつくる電場によって大きく散乱されて制動放射線を放出することがある。

- A：誤 制動放射線の最大エネルギーは加速された電子のエネルギーに依存する。そのため、条件によっては、極低エネルギーのガンマ線よりも高いエネルギーを持ち、波長が短い場合もありうる。
- B：正 さまざまなエネルギーの X 線が放出されるため連続スペクトルを示す。
- C：誤 原子核のつくる電場によって大きく散乱された結果、原子核外から放出される。
- D：正 制動放射線は、放射線が物質中でエネルギーを失った結果として放出される。同じエネルギーの電子と陽子が物質に入射した場合、陽子は衝突に起因する電離または励起によりエネルギーを失う。その一方で、電子は制動放射線の放出によってエネルギーを失う。

問 7 等速の三重陽子と  $\alpha$  粒子の阻止能をそれぞれ  $S_T$  と  $S_A$  とするとき、その比 ( $S_T / S_A$ ) として正し

いものは次のうちどれか。

1 4      2 2      3 1      4 0.5      5 0.25

〔解答〕 5

〔解説〕 阻止能とは、荷電粒子が物質中を通過する際に、単位距離あたりに失うエネルギー量のことである。等速の荷電粒子に対する阻止能は、主に電荷の2乗に比例する。三重陽子の電荷は+1、 $\alpha$ 粒子の電荷は+2であるため、阻止能の比  $S_T/S_A = (+1)^2 / (+2)^2 = 1/4$  となり、0.25が正答となる。

問8 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 放射能は単位時間当たりに放出される放射線の数である。
- B W値は気体に対してのみ用いられる。
- C 照射線量は空気に対してのみ定義される。
- D カーマは間接電離放射線に対して用いられる。

1 ABDのみ      2 ABのみ      3 ACのみ      4 CDのみ      5 BCDのみ

〔解答〕 4

〔解説〕

- A：誤 放射能とは、単位時間(s)あたりの原子核の壊変数である。単位は  $s^{-1}$  で、Bq(ベクレル)で表す。
- B：誤 W値とは、放射線が物質中で1個のイオン対を生成するのに必要な平均エネルギーである。主に気体に対して用いることが多いが、固体や液体にも適用可能である。単位は eV である。
- C：正 照射線量は、乾燥空気に対する電離能力で定義された X線や  $\gamma$  線の線量であり、空気に対してのみ定義される。単位は  $C \cdot kg^{-1}$  である。
- D：正 カーマとは、 $\gamma$  線や中性子線などの電荷を持たない放射線が物質に入射し、そこで発生した荷電粒子(主に電子)に与えられる初期運動エネルギーの総和を、その物質の質量で割った量である。単位は  $J \cdot kg^{-1}$  で、Gy(グレイ)で表す。

問9 次の関係のうち、正しいものの組合せはどれか。

- |          |                   |
|----------|-------------------|
| A 吸収線量   | $J \cdot kg^{-1}$ |
| B 実効線量   | $N \cdot kg^{-1}$ |
| C フルエンス率 | $J \cdot s^{-1}$  |
| D プランク定数 | $J \cdot s$       |

1 AとB      2 AとD      3 BとC      4 BとD      5 CとD

〔解答〕 2

〔解説〕

- A : 正 吸収線量は単位質量当たりのエネルギー付与に基づく単位である。 $1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}=1\text{Gy}$  (グレイ)
- B : 誤 実効線量は単位質量当たりのエネルギー付与に基づく単位であり、放射線の種類や人体の感受性を考慮したものである。 $1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}=1\text{Sv}$  (シーベルト)
- C : 誤 フルエンス率は単位面積・単位時間当たりを透過する粒子数であり、単位は  $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  である。
- D : 正 プランク定数は、光子のエネルギーと振動数の比例関係を示す定数であり、量子論を特徴付ける基本的な物理定数である。光子のエネルギーを  $E[\text{J}]$ 、プランク定数を  $h$ 、振動数を  $\nu [\text{s}^{-1}]$ とした場合、 $E=h\nu$  が成り立つ。よって、 $h$ の単位は  $[\text{J}\cdot\text{s}]$  となる。

問 10 分解時間  $200\ \mu\text{s}$  の GM 計数管を用いて計数するとき、数え落としによる誤差が 8.0% を超えない最大の計数率 [cps] に最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 400      2 800      3 1200      4 1600      5 2000

〔解答〕 1

〔解説〕 GM 計数管を用いた測定で、単位時間当たりの真の計数率  $n_0$  は分解時間を  $\tau$ 、得られる計数率  $n$  とすると、 $n_0 = \frac{n}{1-n\tau}$  と表せる。 $n\tau$  は数え落としの割合を表している。そのため、 $n\tau \leq 0.08$  となり、 $n \times 200 \times 10^{-6} \leq 0.08$  を解いて、 $n \leq 400$  [cps] となる。

問 11 次の I、II 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 放射線検出器に用いるシンチレータの発光は微弱であるため、光電子増倍管などの光検出デバイスを利用する。光電子増倍管の入射窓を通過した光が光電陰極面に入射すると、光電子が発生し、光電子は電子増倍部に導かれる。入射した光子数に対する光電陰極面から放出される光電子数の比を [A] と呼ぶ。電子増倍部は、二次電子を放出する [B] と呼ばれる電極の多数段の組み合わせにより高い增幅度を実現し、增幅後の電気信号を取り出す電極は主に [B] の最終段か、[C] である。高計数率の測定には発光の減衰時間が最も短い [D] シンチレータが有効である。 $\gamma$  線のエネルギー測定には、高密度で実効原子番号が大きい [E] シンチレータが有効である。

<A の解答群>

- 1 熱効率      2 エネルギー効率      3 発光効率      4 分光効率  
5 量子効率

<B、C の解答群>

- 1 アノード      2 カソード      3 ダイアード      4 グリッド  
5 ソース      6 ダイオード      7 ゲート      8 ドレイン  
9 コイル      10 レジスタ

<D の解答群>

- |       |           |           |          |
|-------|-----------|-----------|----------|
| 1 BGO | 2 NaI(Tl) | 3 ZnS(Ag) | 4 プラスチック |
| 5 GSO | 6 CsI(Tl) | 7 LiI(Eu) |          |

&lt;Eの解答群&gt;

- |              |           |           |
|--------------|-----------|-----------|
| 1 有機液体       | 2 NaI(Tl) | 3 ZnS(Ag) |
| 4 プラスチック     | 5 アルゴンガス  | 6 アントラゼン  |
| 7 銀活性リン酸塩ガラス |           |           |

〔解答〕 I A—5 B—3 C—1 D—4 E—2

〔解説〕

A～C：シンチレーション検出器の構造・仕組みに関する記述である。

D：発光の減衰時間は無機シンチレータでは  $\mu\text{s}$  程度であるのに対し、有機シンチレータは一般に数 ns と短い。選択肢中では、プラスチックシンチレータの減衰時間が最も短い。E： $\gamma$  線エネルギー測定には、高密度で実効原子番号の大きいシンチレータが適している。これは、 $\gamma$  線が物質中で主に光電効果やコンプトン散乱によってエネルギーを失うためであり、これらの確率は原子番号が大きいほど高くなるためである。選択肢の中で NaI (Tl) シンチレータは高い出力と良好なエネルギー分解能を持ち、 $\gamma$  線スペクトル測定にもっとも広く利用されている。

II コンプトン効果とは、 $\gamma$  線や X 線が物質中の電子と衝突し長波長側にシフトして散乱される現象である。図 1 に示すように、エネルギー  $h\nu$  の入射光子が、静止している電子（質量を  $m_e$  とする）に衝突し、入射方向に対して、光子はエネルギー  $h\nu'$ 、角度  $\theta$  で散乱され、電子は運動量  $p$ （全エネルギー  $E$ ）、角度  $\varphi$  で反跳する場合を考える。ここで、光速を  $c$ 、プランク定数を  $h$ 、光子の散乱前、散乱後の振動数をそれぞれ  $\nu$ 、 $\nu'$  とすると、光子の入射方向及び垂直方向に対する運動量保存則、並びにエネルギー保存則は、

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c} \cos\theta + p \cdot \cos\varphi \quad \dots \quad (1)$$

$$0 = \boxed{\text{ア}} \quad \dots \quad (2)$$

$$h\nu = h\nu' + E - m_e c^2 \quad \dots \quad (3)$$

となる。これらの式、並びに  $E^2 = c^2(p^2 + m_e^2 c^2)$  なる関係を用いると、散乱光子のエネルギーと散乱角  $\theta$  の関係式、

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (\boxed{\text{イ}})} \quad \dots \quad (4)$$

を得る。

(4)式を実験的に検証するため、ある物質に  $\gamma$  線を入射させ、散乱角  $\theta$  に対する散乱光子エネルギーと反跳電子の運動エネルギーを同時に測定した。図 2 は  $^{137}\text{Cs}$  線源からの 662 keV の  $\gamma$  線に対して測定した結果であり、横軸は散乱角  $\theta$ 、縦軸はエネルギーである。ここで、散乱光子エネルギーを示しているのは図 2 中の  $\boxed{\text{ウ}}$  で示したデータである。散乱角  $\theta$  が  $90^\circ$  の場合、散乱光子のエネル

ギーと反跳電子の運動エネルギーを計算すると、それぞれ  ケV、 ケV となり、実験値とほぼ一致している。

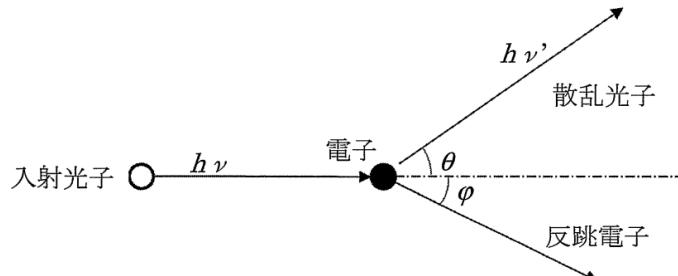


図1

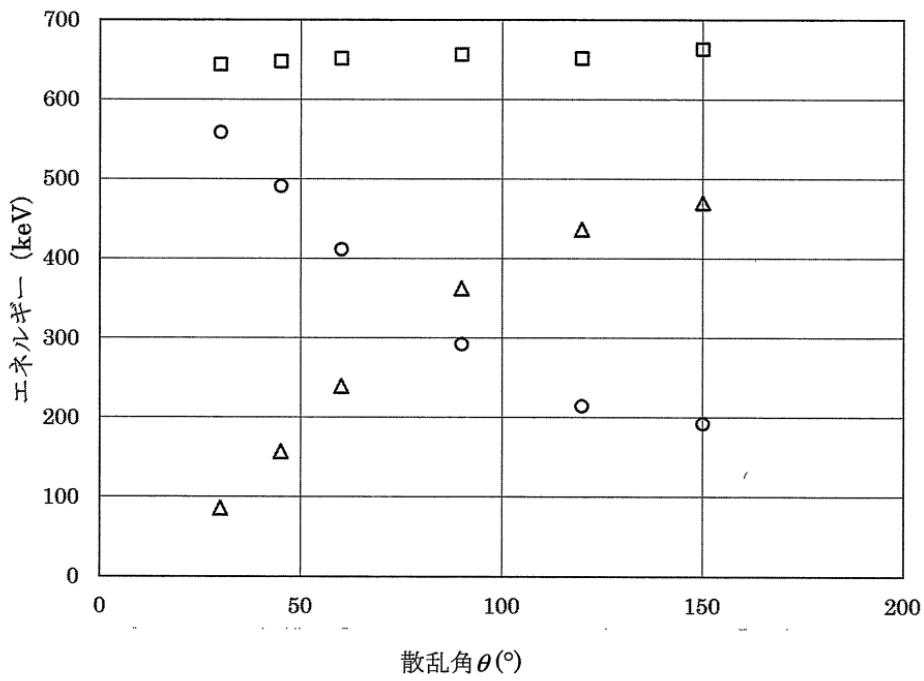


図2

<アの解答群>

- |  |  |  |
|--|--|--|
| 1 $\frac{h\nu}{c} \cos\theta - p \cdot \cos\varphi$  | 2 $\frac{h\nu}{c} \cos\theta + p \cdot \cos\varphi$  | 3 $\frac{h\nu'}{c} \cos\theta - p \cdot \cos\varphi$ |
| 4 $\frac{h\nu'}{c} \cos\theta + p \cdot \sin\varphi$ | 5 $\frac{h\nu'}{c} \sin\theta - p \cdot \cos\varphi$ | 6 $\frac{h\nu'}{c} \sin\theta + p \cdot \cos\varphi$ |
| 7 $\frac{h\nu}{c} \sin\theta - p \cdot \cos\varphi$  | 8 $\frac{h\nu}{c} \sin\theta + p \cdot \cos\varphi$  | 9 $\frac{h\nu'}{c} \sin\theta - p \cdot \sin\varphi$ |

<イの解答群>

- |                     |                    |                     |                      |
|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| 1 $1 + \sin\theta$  | 2 $1 - \sin\theta$ | 3 $1 - 2\sin\theta$ | 4 $1 - \sin 2\theta$ |
| 5 $1 + 2\sin\theta$ | 6 $1 + \cos\theta$ | 7 $1 - \cos\theta$  | 8 $1 - 2\cos\theta$  |

9  $1 - \cos 2\theta$

10  $1 + 2\cos\theta$

<ウの解答群>

1  $\square$

2  $\circlearrowright$

3  $\triangle$

4  $\square$ と $\circlearrowright$

5  $\square$ と $\triangle$

6  $\circlearrowright$ と $\triangle$

7  $\square$ と $\circlearrowright$ と $\triangle$

<エ、オの解答群>

1 0.025

2 1.27

3 95

4 144

5 187

6 210

7 288

8 374

9 408

10 443

11 489

12 563

13 622

[解答] II アー9 イー7 ウー2 エー7 オー8

[解説]

ア：(1)は光子の入射方向の運動量保存則であり、(2)は垂直方向の運動量保存則である。そのため、垂直方向の散乱光子と反跳電子の運動量を考えると、(2)は、

$$0 = \frac{h\nu'}{c} \sin \theta - p \sin \varphi \text{ となる}$$

イ：まず、(1)、(2)および( $\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi = 1$ )より

$$p^2 = \frac{1}{c^2} [(h\nu - h\nu' \cos \theta)^2 + (h\nu' \sin \theta)^2] = \frac{(h\nu)^2 + (h\nu')^2 - 2(h\nu)(h\nu') \cos \theta}{c^2} \dots (5)$$

$E^2 = c^2(p^2 + m_e^2 c^2)$ と(3)式を用いて

$$(h\nu - m_e c^2 - h\nu')^2 = E^2 = c^2(p^2 + m_e^2 c^2) \dots (6)$$

(5)、(6)より  $p^2 c^2$  を代入して、式変形、整理すると、

$$(h\nu)(h\nu')(1 - \cos \theta) = m_e c^2 (h\nu - h\nu')$$

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2}(1 - \cos \theta)} \dots (4) \text{ となる。}$$

ウ：<sup>137</sup>Cs 線源で考えた場合、 $h\nu=662(\text{keV})$ 、 $m_e c^2=511(\text{keV})$ を(4)に代入し、散乱角  $\theta$  を変化させて考えると、○のようにプロットされる。

エ、オ：散乱角  $\theta$  が  $90^\circ$  の場合  $\cos 90^\circ = 0$  となり、散乱光子のエネルギーは(4)より  $h\nu=288(\text{keV})$  となる。また、反跳電子の運動エネルギー  $T$  は、 $T = h\nu - h\nu'$  なので  $662 - 288 = 374(\text{keV})$  となる。

次の問1から問10について、5つの選択肢のうち適切な答えを1つだけ選び、また、問11の文章の□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つだけ選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

---

問1 次の研究者と業績の関係のうち、正しいものの組合せはどれか

| 研究者               | 業績               |
|-------------------|------------------|
| A アンリ・ベクレル        | ウランから放出される放射線の発見 |
| B アーネスト・ラザフォード    | 核分裂の発見           |
| C マリー・キュリー        | ポロニウムの発見         |
| D ドミトリ・メンデレーエフ    | テクネチウムの発見        |
| E チャールズ・T・R・ウィルソン | 霧箱の発明            |

1 ABCのみ    2 ACEのみ    3 ADEのみ    4 BCDのみ    5 BDEのみ

〔解答〕 2

〔解説〕

A: 正

B: 誤 アーネスト・ラザフォードの主な業績は原子核の発見である。また、核分裂の発見はオットー・ハーンとフリッツ・シュトラスマントである。

C: 正

D: 誤 ドミトリ・メンデレーエフは、元素周期表を発表した。テクネチウムは、イタリアのセグレとペリエによって1936年に発見された。

E: 正

問2 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか

- A 周期表の縦の列のことを族とよぶ。
  - B ランタノイドの原子番号はアクチノイドの原子番号より小さい。
  - C 同じ原子2個からなる分子の結合は共有結合である。
  - D 主量子数が2の原子軌道にはp軌道は存在しない。
- 1 ABCのみ    2 ABDのみ    3 ACDのみ    4 BCDのみ    5 ABCDすべて

〔解答〕 1

〔解説〕

A: 正 周期表の縦の列を族、横の列を周期とよぶ。

B: 正 ランタノイド元素の原子番号は57~71、アクチノイド元素の原子番号は89~103。

C: 正 純粋な共有結合（非極性共有結合）である。同じ原子同士では、電気陰性度の差が0であり、一方が引き付けることはない。

D: 誤 主量子数が2のときには2s軌道と2p軌道が存在する。

問3 半減期が60分の放射性核種Aがあり、その36%が $\alpha$  壊変して核種Bになり、64%が $\beta$  壊変して核種Cとなる時、 $\alpha$  壊変の部分半減期(分)と $\beta$  壊変の部分半減期(分)の組合せとして正しいものは次のうちどれか。

|   | $\alpha$ 壊変<br>(分) | $\beta$ 壊変<br>(分) |
|---|--------------------|-------------------|
| 1 | 85                 | 188               |
| 2 | 94                 | 167               |
| 3 | 134                | 106               |
| 4 | 167                | 94                |
| 5 | 200                | 86                |

〔解答〕4

〔解説〕部分半減期は、その核種の半減期を分岐比で割ることで求めることができる。

$$\alpha \text{ 壊変の部分半減期 (分)} \text{ は} , \frac{60}{0.36} = 166.67$$

$$\beta \text{ 壊変の部分半減期 (分)} \text{ は} , \frac{60}{0.64} = 93.75$$

問4 20年前に600 MBq あった線源が現在150 MBq に減衰した。今から5年後の放射能[MBq]として最も近い値は次のうちどれか。

- 1 50            2 60            3 75            4 90            5 110

〔解答〕5

〔解説〕ある時点での放射能を $A_0$ [Bq]、ある時点から $t$ 年経過後の放射能を $A$ [Bq]、半減期を $T$ [年]とすると、以下の式が成り立つ。

$$A = A_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

問題文より半減期は10年であることが分かる。そのため、5年後の放射能は、

$$150(\text{MBq}) \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5}{10}} = 106.1(\text{MBq}) \text{ となる。}$$

問5 次の核種と壊変系列の関係のうち、正しいものの組合せはどれか。

- |   |                   |   |          |
|---|-------------------|---|----------|
| A | $^{219}\text{Rn}$ | — | アクチニウム系列 |
| B | $^{220}\text{Rn}$ | — | トリウム系列   |
| C | $^{221}\text{Rn}$ | — | ウラン系列    |
| D | $^{222}\text{Rn}$ | — | ネプツニウム系列 |

- 1 AとB      2 AとC      3 BとC      4 BとD      5 CとD

〔解答〕1

〔解説〕 地球誕生時に存在し半減期が  $10^9$  年以上のものが、一次放射性核種、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{235}\text{U}$  などである。 $\alpha$  壊変または $\beta$ -壊変を十数回繰り返し、それぞれ、 $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$  まで、逐次壊変する壊変系列をもつ。各壊変系列の質量数  $M$  は、 $M = 4n + q$  ( $n$  は、自然数)で表され、 $q = 0$  : トリウム系列、 $q = 2$  : ウラン系列、 $q = 3$  : アクチニウム系列、一次放射性核種としては現在自然界に存在しない  $q = 1$  : ネプツニウム系列がある。

- A : 正  $q = 3$  : アクチニウム系列  
 B : 正  $q = 0$  : トリウム系列  
 C : 誤  $q = 1$  : ネプツニウム系列 ( $^{221}\text{Rn}$  ではなく  $^{221}\text{Fr}$  となる。)  
 D : 誤  $q = 2$  : ウラン系列  
 (「第1種試験の要点 (JRIA)」 II. 化学 p. 3-7)

問6  $^{238}\text{U}$  の半減期は  $4.47 \times 10^9$  年、 $^{234}\text{U}$  の半減期は  $2.46 \times 10^5$  年である。今、100 kBq の  $^{238}\text{U}$  を含む試料がある。 $2.46 \times 10^6$  年経過後にこの試料に含まれる  $^{234}\text{U}$  の放射能 [kBq] として最も近い値は次のうちどれか。ただし、この試料は全く風化を受けないものとする。

- 1 0.100      2 0.930      3 1.00      4 93.0      5 100

〔解答〕 5

〔解説〕 放射平衡の問題である。親核種  $^{238}\text{U}$  の半減期は、娘核種  $^{234}\text{U}$  の半減期の約 2 万倍と十分長く、経過時間も娘核種  $^{234}\text{U}$  の半減期の 10 倍と長い。このため永続平衡が成り立っていると考えられる。よって親核種と娘核種の放射能は等しい。

問7 次の核反応式のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A  $^{12}\text{C}(\text{d}, \text{p})^{13}\text{C}$   
 B  $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$   
 C  $^{21}\text{Ne}(\alpha, \text{n})^{24}\text{Na}$   
 D  $^{27}\text{Al}(\text{n}, \alpha)^{24}\text{Na}$   
 1 ABC のみ      2 ABD のみ      3 ACD のみ      4 BCD のみ      5 ABCD すべて

〔解答〕 2

〔解説〕

- A : 正  $^{12}\text{C}(\text{d}, \text{p})^{13}\text{C}$  重陽子 (2u) の入射、陽子 (1u) の放出で、質量数が 1 増加する。  
 B : 正  $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$  O の原子番号は 8、F の原子番号は 9、陽子 (1u) の入射、中性子 (1u) の放出で、質量数は変化しないで、原子番号は 1 増加する。  
 C : 誤  $^{21}\text{Ne}(\alpha, \text{n})^{24}\text{Na}$  Ne の原子番号は 10、Na の原子番号は 11、 $\alpha$  粒子 (4u) の入射、中性子 (1u) の放出で、質量数は 3 増加して、原子番号は 2 増加するので、反応後は  $^{24}\text{Mg}$  である。  
 D : 正  $^{27}\text{Al}(\text{n}, \alpha)^{24}\text{Na}$  Al の原子番号は 13、Na の原子番号は 11、中性子 (1u) の入射、 $\alpha$  粒子

(4u) の放出で、質量数は3減少して、原子番号は2減少する。

問8 次の核種のうち、半減期が最も長いものはどれか。

- 1  $^3\text{H}$
- 2  $^{22}\text{Na}$
- 3  $^{63}\text{Ni}$
- 4  $^{90}\text{Sr}$
- 5  $^{137}\text{Cs}$

〔解答〕3

〔解説〕半減期に関する問題である。問われている各核種の半減期は以下の通りである。

$^3\text{H}$  : 12.32 年、 $^{22}\text{Na}$  : 2.6018 年、 $^{63}\text{Ni}$  : 101.2 年、 $^{90}\text{Sr}$  : 28.79 年、 $^{137}\text{Cs}$  : 30.08 年

したがって、最も半減期が長いのは  $^{63}\text{Ni}$  である。

(参考:「アイソトープ手帳 第12版」(日本アイソトープ協会) p.26, 33, 44, 67)

問9 次の放射性核種、利用する放射線、その放射線の性質を利用した分析・計測装置の関係のうち、正しいものの組合せはどれか。

|       | 放射性核種             | 利用する放射線    | 分析・計測装置         |       |
|-------|-------------------|------------|-----------------|-------|
| A     | $^{85}\text{Kr}$  | $\gamma$ 線 | レベル計            |       |
| B     | $^{63}\text{Ni}$  | $\beta$ 線  | ECD ガスクロマトグラフ装置 |       |
| C     | $^{60}\text{Co}$  | $\gamma$ 線 | メスバウアー分光装置      |       |
| D     | $^{241}\text{Am}$ | $\alpha$ 線 | 蛍光X線分析装置        |       |
| E     | $^{252}\text{Cf}$ | 中性子線       | 水分計             |       |
| 1 AとD | 2 AとE             | 3 BとC      | 4 BとE           | 5 CとD |

〔解答〕4

〔解説〕

A: 誤 レベル計では、大型タンクの場合は  $^{137}\text{Cs}$  や  $^{60}\text{Co}$  からの  $\gamma$  線が用いられるが、小型で低原子番号元素からなる物質に対しては  $^{241}\text{Am}$  が用いられる。(「第1種試験の要点 (JRIA)」 II.化学 p.76,77)

B: 正 ECD (電子捕獲検出器) 付きガスクロマトグラフ装置には、電子源として  $^{63}\text{Ni}$  の  $\beta$  線源 (約 370 MBq 程度) が用いられる。(「第1種試験の要点 (JRIA)」 II.化学 p. 77)

C: 誤 メスバウアー分光装置は、 $\gamma$  線の共鳴吸収現象 (メスバウアー効果) を利用している。線源としては、 $^{57}\text{Co}$  や  $^{119\text{m}}\text{Sn}$  などの低エネルギー  $\gamma$  線源が用いられる。(「第12版 放射線概論」(通商産業研究社) p.295,296)

D: 誤 蛍光 X 線分析装置では、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{241}\text{Am}$  からの X 線または  $\gamma$  線が励起源として用いられる。(「第1種試験の要点 (JRIA)」 II.化学 p. 77)

E：正 水分計は、水素原子核の速中性子に対する高い減速能を利用しておる、中性子源として $^{241}\text{Am-Be}$  や  $^{252}\text{Cf}$  が用いられる。(「第1種試験の要点 (JRIA)」 II.化学 p. 78)

問10 4 MeV の  $\alpha$  線が空気中で停止するまでに生成するイオン対の数として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、空気の W 値は 34 eV とする。

- 1  $7.4 \times 10^4$       2  $1.2 \times 10^5$       3  $1.9 \times 10^5$       4  $1.9 \times 10^6$       5  $1.2 \times 10^7$

〔解答〕2

〔解説〕W 値とは 1 組の電子・イオン対を形成するのに必要な平均エネルギーである。問題文中に空気の W 値は 34 eV と示されているので、空気中のイオン対 1 個を生成するのに必要なエネルギーは 34 eV である。したがって、4 MeV の  $\alpha$  線が空気中で停止するまでに生成するイオン対数を  $x$  とすると

$$34 \text{ eV} : 1 = 4 \times 10^6 \text{ eV} : x \\ x = 1.18 \times 10^5$$

よって、生成されるイオン対の数は 約  $1.2 \times 10^5$  個 である。

問11 放射性同位体利用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。

様々な製造分野で製品の品質管理に放射性同位体が利用されている。例えば、厚さ計の線源として、測定対象に対して適切な放射線の種類やエネルギーをもつ放射性同位体が使われている。

製紙工業では、主に [ア] 線源を用いており、紙の厚さ (坪量値、 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) を非接触で連続的に検査している。線源は、放出される放射線のエネルギーによって、薄い紙類 ( $5 \sim 100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) の場合には、[A] が利用され、厚い紙類 ( $100 \sim 5000 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) の場合には [B] が利用されている。

また、鉄鋼業では、鋼板の厚さを測定するため、主に [イ] 線源を用いており、厚さ 5 mm 程度までの測定には [C] 、厚さ 100mm 程度までの測定では [D] が利用されている。

上記で示した例では、被測定物を透過した放射線の測定には、電離箱や [E] が用いられている。

また、宇宙開発の分野でも放射性同位体が利用されている。探査する惑星によっては太陽光発電が困難な場合もあり、米国の火星探査車キュリオシティ (2012 年から活動中) では、[ウ] 線源からの崩壊熱を電力に変換する原子力電池が利用されている。また、探査車には火星の岩石や土壤表面の元素分析のために、線源として半減期 18.1 年の [F] が利用されており、試料表面に [F] からの放射線を照射することによって、[G] 分析などが行われている。

<ア～ウの解答群>

- 1  $\alpha$       2  $\beta$       3  $\gamma$       4 X      5 中性子

<A、B の解答群>

- |                    |                    |                    |                     |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1 $^3\text{H}$     | 2 $^{14}\text{C}$  | 3 $^{32}\text{P}$  | 4 $^{63}\text{Ni}$  |
| 5 $^{87}\text{Rb}$ | 6 $^{90}\text{Sr}$ | 7 $^{129}\text{I}$ | 8 $^{147}\text{Pm}$ |

<C、Dの解答群>

- |                     |                     |                     |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 $^{7}\text{Be}$   | 2 $^{55}\text{Fe}$  | 3 $^{57}\text{Co}$  | 4 $^{99}\text{Tc}$  |
| 5 $^{137}\text{Cs}$ | 6 $^{152}\text{Eu}$ | 7 $^{226}\text{Ra}$ | 8 $^{241}\text{Am}$ |

<Eの解答群>

- |                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| 1 ZnS(Ag)シンチレーション検出器  | 2 Ge 検出器                |
| 3 ガスフロー計数管            | 4 プラスチックシンチレーション検出器     |
| 5 液体シンチレーション検出器       | 6 $^{3}\text{He}$ 比例計数管 |
| 7 $\text{BF}_3$ 比例計数管 |                         |

<Fの解答群>

- |                     |                    |                     |                     |
|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 1 $^{55}\text{Fe}$  | 2 $^{60}\text{Co}$ | 3 $^{137}\text{Cs}$ | 4 $^{147}\text{Pm}$ |
| 5 $^{226}\text{Ra}$ | 6 $^{238}\text{U}$ | 7 $^{244}\text{Cm}$ | 8 $^{252}\text{Cf}$ |

<Gの解答群>

- |        |         |          |            |
|--------|---------|----------|------------|
| 1 放射化  | 2 萤光X線  | 3 即発ガンマ線 | 4 メスバウア一分光 |
| 5 電子散乱 | 6 中性子散乱 |          |            |

[解答] ア-2 イ-3 ウ-1 A-8 B-6 C-8 D-5 E-4 F-7 G-2

[解説]

ア、イ：厚さ計とは放射線の物質による吸収や散乱が試料の厚さに依存した機器である。測定対象の密度や厚さにより放射線の種類やエネルギーを選択する。

$\beta$ 線 ( $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) セロファン、ペンキ等塗装膜など ( $1\sim 1000 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ )

$\gamma$ 線 ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ )：銅管、圧延鉄鋼版、ガラス、プラスチックなど ( $1\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ )

(「第1種試験の要点 (JRIA)」 II.化学 p.76)

したがって、製紙工業で主に $\beta$ 線源、鉄鋼業では主に $\gamma$ 線源が用いられている。

A~E：一般的に金属製品を測定する厚さ計には $^{137}\text{Cs}$ 、または $^{241}\text{Am}$ のような透過力の強い $\gamma$ 線源が用いられ、検出器には電離箱、もしくはプラスチックシンチレーション検出器が用いられる。紙・プラスチック等の測定には、 $^{85}\text{Kr}$ または $^{147}\text{Pm}$ のような弱いエネルギーの $\beta$ 線源が用いられ、検出器には電離箱が用いられる。また、ゴムや比較的厚いプラスチックシートの測定には、 $^{90}\text{Sr}$ のような高いエネルギーの $\beta$ 線源が利用されている。

これらの線源と測定範囲の対応は以下の表の通りである。

| 線源                              | 測定厚さの範囲                             | 主な測定用途               |
|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| $^{147}\text{Pm}$ ( $\beta$ 線)  | 5~100 g/m <sup>2</sup> (約 5~100 μm) | 新聞紙、上質紙、プラスチックフィルムなど |
| $^{90}\text{Sr}$ ( $\beta$ 線)   | 100~5000g/m <sup>2</sup> (0.1~5 mm) | 板紙、プラスチックシート、ゴム板など   |
| $^{241}\text{Am}$ ( $\gamma$ 線) | 0~40kg/m <sup>2</sup> (0~5 mm)      | 銅板、鋼板、アルミ板など         |
| $^{137}\text{Cs}$ ( $\gamma$ 線) | 20~500kg/m <sup>2</sup> (4~100 mm)  | 銅板、H形鋼、シームレスパイプなど    |

(日本電気計測器工業会(JEMIMA)技術資料「放射線厚さ計」<https://www.jemima.or.jp/tech/6-04-02-01.html>)

ウ、F、G：宇宙探査車「キュリオシティ（Curiosity）」は、太陽光発電が困難な環境下でも動作できるよう、放射性同位体  $^{238}\text{Pu}$  の崩壊熱を利用した放射性同位体熱電発電機（RTG：Radioisotope Thermoelectric Generator）によって駆動されている。（NASA/JPL, Mars Science Laboratory/Curiosity [https://mars.nasa.gov/internal\\_resources/824/?utm\\_source=chatgpt.com](https://mars.nasa.gov/internal_resources/824/?utm_source=chatgpt.com)）

また、火星の岩石や土壤の分析には、放射性同位体  $^{244}\text{Cm}$ （を線源とする  $\alpha$  線励起 X 線分光計（APXS：Alpha Particle X-ray Spectrometer）が搭載されており、 $^{244}\text{Cm}$  から放出される  $\alpha$  線を試料に照射して励起された元素の蛍光 X 線を測定し、元素組成を求めている。

（Mars Science Laboratory（Curiosity）Data Archive <https://arcnav.psi.edu/urn:nasa:pds:context:instrument:apxs.msl>）

次の問 1 から問 10 について、5 つの選択肢のうち適切な答えを 1つだけ 選び、また、問 11 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 選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

---

問 1 ヒトの全身  $\gamma$  線被ばくによる急性放射線症に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 半数致死線量は 3~5 Gy とされる。
- B 骨髄死は腸死より低い線量域で起こる。
- C 骨髄死の平均生存期間は腸死の平均生存期間より長い。
- D 骨髄死、腸死のいずれにも幹細胞の分裂停止が関わっている。

1 ABC のみ    2 ABD のみ    3 ACD のみ    4 BCD のみ    5 ABCD すべて

〔解答〕 5

〔解説〕

- A : 正
- B : 正 骨髄死は 3~10Gy、腸死は 10~30Gy で起こる。(第 13 版 放射線概論)(通商産業研究社) p.371)
- C : 正 全身被ばくによる急性致死において平均生存期間は分子死、中枢神経死、消化管死(腸死)、骨髄死の順で長い。(「第 1 種試験の要点 (JRIA)」 III. 生物学 p.50)
- D : 正 骨髄死では、造血幹細胞、腸死では、小腸上皮幹細胞が関わっている。

問 2 広島・長崎の原爆被爆者の疫学調査において、有意な死亡リスクの増加が認められているものとして正しいものの組合せは、次のうちどれか。

- A 白血病
- B 直腸がん
- C 胃がん
- D 乳がん

1 ABC のみ    2 ABD のみ    3 ACD のみ    4 BCD のみ    5 ABCD すべて

〔解答〕 3

〔解説〕 有意な死亡リスクの増加が認められるのは、白血病、胃がん、肺がん、肝臓がん、乳がんなどであり、直腸がん、膵臓がん、前立腺がんなどは死亡リスクの増加は認められていない。(「第 13 版 放射線概論」(通商産業研究社) p.374)

問 3 環境放射線による被ばくに関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 公衆の 1 人あたり年間の自然放射線被ばく線量は、世界平均でおおよそ 1 mSv とされている。
- B 1 人あたり年間の食物摂取による被ばく線量は、日本平均の方が世界平均に比べて高い。

- C 緯度が同じであれば、一般に高度が高い方が被ばく線量が高い。  
D 環境中に存在する  $^{137}\text{Cs}$  は、人工的に生成されたものがほとんどである。
- 1 ABC のみ    2 ABD のみ    3 ACD のみ    4 BCD のみ    5 ABCD すべて

〔解答〕 4

〔解説〕

- A : 誤 年間の自然放射線による実効線量の世界平均はおよそ 2.4 mSv である。(「第1種試験の要点 (JRIA)」 V. 実務=管理技術 p.2)
- B : 正 日本では魚介類や海藻に多く含まれる  $^{40}\text{K}$ ・ $^{210}\text{Po}$  の摂取が多いため、食物摂取による被ばく線量が世界平均より高い。
- C : 正 宇宙線による放射線量は大気による遮蔽が減少するため、高度が上がるほど増加する。したがって山岳地帯や航空機搭乗中では線量が高くなる。
- D : 正  $^{137}\text{Cs}$  は核分裂生成物であり天然にはほとんど存在しない。

問4 放射線による直接作用と間接作用に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 直接作用は間接作用に比べて、酸素の影響を受けにくい。  
B 直接作用は間接作用に比べて、ラジカルスカベンジャーによる抑制を受けやすい。  
C 乾燥状態の酵素に対する X 線照射による不活性化は、直接作用が主たる要因である。  
D 低 LET 放射線においては、直接作用の寄与が間接作用の寄与よりも大きい。
- 1 A と C    2 A と D    3 B と C    4 B と D    5 C と D

〔解答〕 1

〔解説〕

- A : 正 酸素存在下での放射線の効果はラジカルが酸素と反応してさらに有害なラジカルを生じ、また、損傷部位が酸素と反応してより修復されにくい損傷となるためである。したがって、直接作用よりラジカルが関与する間接作用の方が酸素の影響を受けやすい。
- B : 誤 間接作用は、放射線が水分子を電離または励起して生じたラジカルが生体高分子に作用し、損傷を引き起こすものである。したがって、ラジカルスカベンジャーによって抑制されやすいのは間接作用である。
- C : 正 ヒドロキシラジカルの発生源となる水分子が減少すると、ラジカルを介した反応が起くなり、生体高分子への障害は直接作用が中心となる。(「第1種試験の要点 (JRIA)」 III. 生物学 p. 6)
- D : 誤 低 LET 放射線では間接作用の割合の方が直接作用よりも大きい。(「第1種試験の要点 (JRIA)」 III. 生物学 p. 7)

問5 DNA の構成成分として、正しいものの組合せは、次のうちどれか。

- A アデニン

- B グルコース
- C ウラシル
- D デオキシリボース

1 AとC    2 AとD    3 BとC    4 BとD    5 CとD

〔解答〕2

〔解説〕DNA(デオキシリボ核酸)の構成成分は、糖(デオキシリボース)、塩基(アデニン・チミン・グアニン・シトシン)、およびリン酸の3要素からなる。

- A:正
- B:誤 グルコースは单糖であり、DNA構成成分ではない
- C:誤 ウラシルはRNAにのみ存在する塩基である。
- D:正

問6 DNA損傷と修復に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 放射線によって生じるDNA損傷のうち、最も多い損傷はDNA2本鎖切断である。
- B DNA2本鎖切断は、修復されない。
- C DNA修復の結果として変異が生じることがある。
- D 紫外線により生じるDNA損傷は発がんの原因となることがある。

1 AとC    2 AとD    3 BとC    4 BとD    5 CとD

〔解答〕5

〔解説〕

- A:誤 放射線によるDNA損傷の多くは塩基損傷や1本鎖切断であり、2本鎖切断の頻度は少ない。
- B:誤 DNA2本鎖切断の修復には相同組換えと非相同末端結合の機構がはたらく。(「第1種試験の要点(JRIA)」III.生物学 p. 16)
- C:正 DNA修復の過程で誤りが生じると、結果として塩基置換や欠失などの突然変異が発生することがある。
- D:正 紫外線の照射ではDNA鎖にピリミジンダイマーが生成され、修復異常が起これば皮膚がんなどの原因となる。紫外線に感受性を持つ遺伝病である色素性乾皮症の患者における細胞では修復に関する酵素を欠いているため、ピリミジンダイマーの修復ができず、紫外線に高感受性であり、高率に皮膚がんを発生する。(「第1種試験の要点(JRIA)」III.生物学 p. 18)

問7 放射線の細胞致死作用に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A S期後期からG<sub>2</sub>期前期は放射線抵抗性である。
- B コロニー形成法で評価することができる。

C 被ばくした神経細胞で誘導される細胞死は間期死である。

D 末梢 <sup>しょう</sup>リンパ球では 0.5 Gy の被ばくで分裂死が誘導される。

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕 1

〔解説〕

A : 正 細胞の放射線感受性は細胞周期の時期によって異なり、G<sub>1</sub>期の前半と、S 期の後半から G<sub>2</sub> 期の前半は放射線感受性が低い。

B : 正 コロニー形成法は細胞の増殖を定量するために用いられる。放射線照射を受けていないコロニーでは増殖して大きくなり、分裂が盛んな細胞の塊を形成する。一方照射を受けた細胞では、大きなコロニーは形成されずに、コロニー内の細胞は複数核を持つ細胞や巨細胞がみられる。

C : 正 非分裂系組織の細胞である神経細胞は、数十～数百 Gy の大線量によって生じる間期死を呈する。

D : 誤 リンパ球のような分裂能力が限られている細胞では、非常に小線量 (0.2~0.5 Gy) の照射で間期死がおこる。

(「第 1 種試験の要点 (JRIA) 」 III.生物学 p. 22-23)

問 8 染色体異常に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A 環状染色体は安定型の異常である。

B 欠失は安定型の異常である。

C 二動原体染色体は急性被ばく線量の推定に使用できる。

D 細胞が G<sub>1</sub> 期に被ばくした時は主に染色分体型の異常が発生する。

1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

〔解答〕 3

〔解説〕 染色体の数または構造の変化を伴う遺伝情報の変化を染色体異常という。染色体異常には、照射後も長期にわたって存在する安定型と比較的短期間消失する不安定型とがある。

A : 誤 環状染色体、二動原体染色体は、不安定型に相当する。

B : 正 欠失、逆位、転座、重複などは、安定型にあたる。

C : 正 二動原体染色体や環状染色体の出現頻度は放射線に特異性が高く識別が比較的容易であるため、放射線被ばく線量推定のための生物学的指標として使われている。

(「第 1 種試験の要点 (JRIA) 」 III.生物学 p.32-34)

D : 誤 細胞周期が G<sub>2</sub> 期の時に被ばくした時に、染色分体型異常が生じるとされている。(「第 12 版 放射線概論」(通商産業研究社) p.350-351)

(令和7年度) 第2種物理学 化学 生物学

問9 遺伝性(的)影響に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 放射線が体細胞に遺伝子変異を誘発し、それが子孫に引き継がれて発生する。
- B 原爆被爆者の疫学調査などのヒトに関するデータからは、放射線被ばくによる遺伝性(的)影響の有意な増加は認められていない。
- C 子の代では現れずに、孫の代で初めて現れる可能性がある。
- D 被ばくした本人に現れた放射線障害のうち、子孫に伝わるものも遺伝性(的)影響という。

1 AとB      2 AとC      3 BとC      4 BとD      5 CとD

〔解答〕 3

〔解説〕

- A:誤 体細胞ではなく、生殖細胞に生じた突然変異のみが遺伝的影響に繋がる。
- B:正 約60年にわたり、7万人の広島・長崎の原爆被爆者とその子孫についての健康影響の調査が続いているが、遺伝的影響の頻度上昇は見られていない。(「第1種試験の要点(JRIA)」 III.生物学 p. 58)
- C:正 ヒトでの報告例はないが、可能性としては劣性(潜性)遺伝子変異による場合が考えられる。放射線によって生じた変異が劣性(潜性)遺伝の場合、多くは第一世代では発現しない。この変異を持つ人が、偶然同じ変異を持つ人と子どもをもうけた場合に、孫以降の世代で発現する可能性があると考えられる。
- D:誤 本人に現れた放射線障害は身体的影響(体細胞変異など)であり、遺伝的影響ではないため、子孫には伝わらない。

問10 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 中性子線は、BNCTによるがん治療に用いられる。
- B 電子線は、主に表在性のがんの治療に用いられる。
- C PET検査では、陽電子放出核種が用いられる。
- D MRI検査では、 $\gamma$ 線源が用いられる。

1 ABCのみ    2 ABDのみ    3 ACDのみ    4 BCDのみ    5 ABCDすべて

〔解答〕 1

〔解説〕

- A:正 BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) は、ホウ素中性子捕獲反応をガン治療に応用した治療法で、ホウ素化合物をがん細胞に取り込ませておき、熱中性子を照射するとホウ素が捕獲することにより、エネルギーが非常に高く、かつ飛程が細胞1つ分程度の粒子を放出することにより、ガン細胞選択的に放射線治療するというものである。(「第1種試験の要点(JRIA)」 III.生物学 p. 85)
- B:正 電子線は体の深部まで届かず、浅いところで止まる性質から、周りの正常組織を傷つけずに治療ができるため、主に皮膚がんのような表在性のがんの治療に用いられている。

C: 正  $\beta^+$ 崩壊により陽電子を放出する核種である  $^{11}\text{C}$ ,  $^{18}\text{F}$ などの標識化合物を投与し、集積部位での陽電子と周囲に存在する陰電子の結合より生じる消滅 $\gamma$ 線を検出するものである。（「第1種試験の要点（JRIA）」III.生物学 p.79,81）

D: 誤 MRI 検査では核磁気共鳴反応を原理としているため、 $\gamma$ 線は用いられない。

問11 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。

放射線影響は、放射線に被ばくしたヒト本人に現れる [A] と、被ばくしたヒトの子孫に現れる [B] とに大別される。[A] は、さらに、被ばく後数週間以内に症状が現れる [C] と、数ヶ月から数年あるいは数十年経過して症状が現れる [D] とに分けられる。

[C] は、受ける放射線の種類・線量や、全身被ばくか局所被ばくかなどで障害の程度が異なり、例えば皮膚の紅斑や脱毛、これ以外に [E] などがある。これらの影響が発生する最低の線量（国際放射線防護委員会（ICRP）によれば、約 1% の影響出現頻度をもたらす線量に対応するとされている）である [F] が存在し、線量の増加によって障害の重篤度（悪性度）が増加する。一方、[D] としては、発がんに加えて、眼の水晶体が混濁する [G] が含まれる。

発がんを除くすべての [A] は、[H] に分類され、多くは細胞が放射線による損傷を受けて死ぬために起こる。一方、発がんは、線量が高くなるほど、その頻度（発生率）が高くなることから、[I] に分類される。現在の放射線防護は、[I] について、100 mSv 未満の低線量でも [F] のない [J] な線量効果関係を仮定したモデルを基本としている。

<A～D の解答群>

- |               |              |              |
|---------------|--------------|--------------|
| 1 遺伝性（的）影響    | 2 確率的影響      | 3 身体的影響      |
| 4 組織反応（確定的影響） | 5 早期影響（急性障害） | 6 晩発影響（晩発障害） |

<E～J の解答群>

- |                |             |          |
|----------------|-------------|----------|
| 1 白血病          | 2 不妊        | 3 吸収線量   |
| 4 しきい線量        | 5 被ばく線量     | 6 白内障    |
| 7 緑内障          | 8 遺伝性（的）影響  | 9 確率的影響  |
| 10 組織反応（確定的影響） | 11 シグモイド関数的 | 12 指数関数的 |
| 13 直線的         |             |          |

〔解答〕 A-3 B-1 C-5 D-6 E-2 F-4 G-6 H-10 I-9 J-13

〔解説〕 人体に対する放射線の影響については、国際放射線防護委員会（ICRP）によって分類されている。

1) 放射線防護の観点から、確定的影響と確率的影響に分類できる。確定的影響は、しきい値（しきい線量：被ばく集団の 1 % に影響が出る）すなわち影響が発生する最低の線量が存在する。しきい値以上の線量では、障害の重篤度が増加するのも特徴の 1 つである。一方、確率的影響は線量にしきい値が存在せず、線量の増加に伴って影響の発生頻度（発生率）が増加する影響である。発がんと遺伝的影響がこの型の影響である。また、重篤度は線量に依存しないのもこの型の

影響の特徴である。

2) 放射線障害が誰に影響として現れるかの観点から、身体的影響と遺伝的影響に分けられる。身体的影響は、被ばくした本人に現れる影響である。時間的な要因を加味すると、急性影響（数時間～数十日以内）と晩発影響（数ヶ月以上）の2つに、さらに分けられる。一方、遺伝的影響は、被ばくした本人ではなく、次世代以降に現れる影響である。生殖年齢にあるヒト（生殖年齢前も含む）が、生殖腺に被ばくした場合に考えられる影響である。

（「第 1 種試験の要点 (JRIA) 」 III.生物学 p.1- 2）