

令和 5 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。

・化学問 8 について、「令和 5 年度 第 2 種放射線取扱主任者試験における問題の誤りについて」(公益財団法人原子力安全技術センター) (<https://www.nustec.or.jp/news/pdf/20240501.pdf>) の内容を反映済みです。

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□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 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 真空中に単独で存在する中性子は β^- 壊変する。
- B 真空中に単独で存在する陽子の半減期は、おおよそ30分である。
- C 中性子の質量は、陽子の質量より大きい。
- D 電子の質量は、陽子の質量のおおよそ180分の1である。

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〕

A: 正 単独の中性子は電子、反ニュートリノを放出し、半減期10.2分で β^- 壊変して陽子に変わる。

B: 誤 単独の陽子は安定であるので、他の粒子に変わることはない。

C: 正 中性子: $1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$ > 陽子: $1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$

D: 誤 電子/陽子 = $9.1094 \times 10^{-31} / 1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1/1836$

問2 $3.0 \times 10^{18} \text{ Hz}$ の振動数を持つ光子の運動量 [$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] に最も近い値は、次のうちどれか。

ただし、プランク定数を $6.6 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ とする。

1 6.6×10^{-27} 2 6.6×10^{-26} 3 6.6×10^{-25} 4 6.6×10^{-24} 5 6.6×10^{-23}

〔解答〕 4

〔解説〕 光子の振動数を ν 、プランク定数を h 、光速を c とすると、運動量 p は、 $p = h\nu/c$ で表される。

運動量 p ($\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) = $6.6 \times 10^{-34} (\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) \times 3.0 \times 10^{18} / 3.0 \times 10^8 (\text{m/s}) = 6.6 \times 10^{-24}$

問3 次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 原子核の半径はその質量数の1/3乗に比例する。
- 2 原子の半径は原子核の半径に比例する。
- 3 陽子過剰な原子核の壊変では β^- 壊変を起こす。
- 4 安定な原子核では質量数が増加すると陽子数が中性子数より多くなる。
- 5 互いに同重体の関係にある核種は質量が等しい。

〔解答〕 1

〔解説〕

1: 正 核子が増加するにつれて原子核の大きさは大きくなり、その密度は一定である。原子核の半径 R は質量数 A とすると次式で与えられる。

$R=r_0A^{1/3}$ ここで $r_0=(1.2\sim 1.4)\times 10^{-15}$ m である。

- 2 : 誤 原子の半径は、原子核の中心から最外殻の軌道電子までの距離と考えられる。元素の周期表で Li から Ne の第2周期を考えた場合、最外殻はすべて L 殻で同じであるが、原子核にある陽子数が異なる。陽子数が多い方が電子を引き付ける強さが強いため、原子番号が大きい原子の方が原子半径は小さくなる。
- 3 : 誤 中性子が過剰な原子核の壊変では β^- 壊変を起こす。
- 4 : 誤 安定な原子核では質量数が増加すると中性子数が陽子数より多くなる。
- 5 : 誤 同重体は質量数が同じであるが、陽子数(p)と中性子数(n)の割合(例： ^{40}Ar (p:18, n:22)、 ^{40}Ca (p:20, n:20))や核子の結合エネルギーが違うため質量が異なる。

問4 放射性壊変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 α 壊変では半減期が短い核種ほど α 線のエネルギーが低い傾向にある。
- B β^+ 壊変ではニュートリノが放出される。
- C 電子捕獲では特性 X 線が放出されることがある。
- D β^- 壊変と β^+ 壊変の両方を壊変図式に持つ核種はない。

- 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 α 線のエネルギーは壊変前後の原子核のエネルギー準位の差異の大きさを反映したもので、半減期の長さとは無関係である。
- B : 正 $p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e$
- C : 正 軌道電子捕獲では、主に K 殻の電子が原子核に捕獲される。その K 殻の空席に外側の軌道の電子が移ってきて埋める。その際に特性 X 線が放出される。
- D : 誤 例えば Ir-192 などがある。

問5 核反応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 反応の Q 値が負であれば吸熱反応である。
- B 非弾性散乱では、標的核のエネルギー状態は基底状態のままで変化しない。
- C 発熱反応のしきい値は 0 である。
- D 反応後に放出される粒子の角度ごとの反応断面積を励起関数という。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 2

〔解説〕

- A : 正 反応前後の質量差をエネルギーに換算した値を核反応の Q 値といい、Q 値が正の場合を発熱反応、負の場合を吸熱反応という。

B: 誤 非弾性散乱では、衝突の際に原子核が励起され、その分運動エネルギーが減少する。すなわち、標的核のエネルギー状態が励起状態になる。

C: 正 Aの解説参照

D: 誤 核反応断面積の入射エネルギー依存性を関数として表したものを励起関数という。反応後に放出される粒子の角度ごとに放出される割合を表すには微分断面積を用いる。

問6 重荷電粒子の物質に対する質量衝突阻止能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 速度の2乗に反比例する。

B 物質の単位体積当たりの電子数に反比例する。

C 運動エネルギーに反比例する。

D 物質の原子番号の2乗に反比例する。

1 ABDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

[解答] 3

[解説]

A: 正 質量衝突阻止能は重荷電粒子のエネルギーに反比例する。これは、速度の2乗に反比例することに相当する。

B: 誤 物質の単位体積当たりの電子数が増えると、クーロン力による相互作用が大きくなり、質量衝突阻止能は比例する。

C: 正 Aと同様の意味である。

D: 誤 物質の原子番号に比例する。Bと同様のことを示している。

問7 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A 光子のエネルギーがK吸収端より高い場合のみ光電効果は起きる。

B コンプトン効果は軌道電子との衝突では起きない。

C 100 keVの光子が水に入射した場合は主にコンプトン効果が起きる。

D 10 MeVの光子が鉛に入射した場合は主に電子対生成が起きる。

1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとD 5 CとD

[解答] 5

[解説]

A: 誤 K吸収端はK殻の軌道電子の結合エネルギーの差を乗り越える点であるが、K吸収端のより低い光子エネルギー場合は、L殻やそれより外殻の軌道電子の放出となり光電効果は起きる。

B: 誤 コンプトン効果は軌道電子との衝突でも起きる。

C: 正 物質の原子番号の大きさによって、主となる効果が異なる。水の場合、入射光子のエネルギ

ーが約 50 keV から約 20 MeV までの範囲であれば、コンプトン効果が主である。

D : 正 上記 C の解説同様で、原子番号 82 の鉛の場合は、入射光子のエネルギーが約 5 MeV を超えると電子対生成が起きる。(「放射線・アイソトープ 講義と実習」(JRIA 編、丸善) p25)

問 8 電子対生成に関する次の記述のうち、誤っているものはどれか。

- 1 電子対生成は光子のエネルギーが 1.022 MeV 以上の場合に起こる。
- 2 相互作用の結果、光子は消滅する。
- 3 生じた電子と陽電子は同じ運動エネルギーをもつ。
- 4 電子対生成は光子と物質中の原子核付近の電場との相互作用で起こる。
- 5 電子対生成の原子当たり断面積は物質の原子番号のほぼ 2 乗に比例する。

〔解答〕 3

〔解説〕

- 1 : 正 電子対生成では電子と陽電子を生成する。これらの静止質量に相当するエネルギーの和は 1.022 MeV であるので、これを超えるエネルギーでないと電子対生成は起こらない。
- 2 : 正 電子対生成では光子のエネルギーがすべて使われ、光子は消滅する。
- 3 : 誤 電子対生成で生じる電子と陽電子のエネルギーの和は、 $E_\gamma - 2m_e c^2$ で与えられる。ここで、 E_γ は光子のエネルギー、 $2m_e c^2$ は電子と陽電子の静止質量エネルギーの和である。この際に電子と陽電子に分配されるが、配分は一定ではない。
- 4 : 正
- 5 : 正 電子対生成の原子断面積はほぼ原子番号の 2 乗に比例し、エネルギーが高くなるほど増加する。

問 9 次のうち、エネルギーの単位でないものはどれか。

- 1 N 2 cal 3 W · s 4 kg · m² · s⁻² 5 eV · s · A · C⁻¹

〔解答〕 1

〔解説〕

- 1 : 誤 N は力の単位である。
- 2 : 正 cal は熱量 (エネルギー) の単位である。1 cal ≐ 4.2 J
- 3 : 正 1 W = 1 J/s なので、これに sec を乗ずることで J となり、エネルギーの単位となる。
- 4 : 正 質量(kg)と速度(m/s)の 2 乗に相当する次元であり、エネルギーの単位である。
 $1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
- 5 : 正 eV はエネルギーの単位である。s · A · C⁻¹ において、A = C/s なので、この積は無次元になる。よって、次元としては eV が残り、エネルギーの単位となる。
 $1 \text{ eV} \doteq 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$

問10 空気 10 cm^3 の吸収線量が 1.6 Gy のとき、その体積中に発生する電離電荷 [μC] に最も近い値は、次のうちどれか。ただし、空気の密度を $0.0013 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、空気の W 値を 34 eV 、 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ とする。

- 1 0.6 2 0.7 3 0.8 4 0.9 5 1.0

〔解答〕 1

〔解説〕 吸収線量 $D[\text{Gy}]$ とその時に流れた電気量 $Q[\text{C}]$ には次の式が成り立つ

$$D = \frac{WQ}{mq}$$

m は気体の質量 [kg]、 q は電子1個の持つ電荷 (素電荷)

$$W = 34 \text{ eV} = 34 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}、m = 10 \text{ cm}^3 \times 1.3 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3}、q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\begin{aligned} 1.6 &= \frac{34 \times 1.6 \times 10^{-19} \times Q}{10 \times 1.3 \times 10^{-6} \times 1.6 \times 10^{-19}} \\ Q &= \frac{1.6 \times 10 \times 1.3 \times 10^{-6} \times 1.6 \times 10^{-19}}{34 \times 1.6 \times 10^{-19}} \\ &= 0.6118 [\mu\text{C}] \end{aligned}$$

問11 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 質量 m の粒子の相対論的な運動に関しては、 c を真空中の光の速度とすると、運動量 p 、速度 v 、運動エネルギー K 、全エネルギー E の間には、以下の式が成り立つ。

$$p = m\gamma v \quad (1)$$

$$E = m\gamma c^2 \quad (2)$$

$$E = K + mc^2 \quad (3)$$

ここで、

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{v}{c} \quad (5)$$

である。

(2)式より質量の次元は[エネルギー/ c^2]である。

また、(1)式、(2)式より

$$E^2 = p^2 c^2 + \square \text{ A} \quad (6)$$

となる。(6)式を変形すると、

$$p = \frac{E\beta}{c} \quad (7)$$

となり、運動量の次元は[エネルギー/ c]である。

これに従うと、電子の質量を $0.511 \text{ MeV}/c^2$ 、陽子の質量を $938 \text{ MeV}/c^2$ とし、それぞれの粒子が真空中 10.0 MV の電位差を動いて得る運動エネルギーは電子の場合で □ ア □ MeV 、陽子で 10.0 MeV となる。全エネルギーは電子の場合で 10.5 MeV 、陽子で □ イ □ MeV である。また、 β は、電子の場合で 0.998 、陽子で □ ウ □ となり、運動量はそれぞれ、電子の場合で □ エ □ MeV/c 、陽子で $137 \text{ MeV}/c$ となる。

<A の解答群>

1 mc 2 mc^2 3 m^2c^2 4 m^2c^4 5 m^4c^4

<ア、イの解答群>

1 0.051 2 0.100 3 0.511 4 1.00
5 5.11 6 10.0 7 51.1 8 92.8
9 908 10 928 11 948 12 968

<ウ、エの解答群>

1 0.072 2 0.145 3 0.290 4 0.680 5 0.938
6 0.999 7 1.05 8 5.25 9 10.5 10 21.0

〔解答〕 I A-4 ア-6 イ-11 ウ-2 エ-9

〔解説〕

式(1)は

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

 $E = K + mc^2 = \sqrt{p^2c^2 + m^2c^4}$ となり両辺を2乗すると式(6)になる。

10.0 MV の電位差で得る運動エネルギーは電子、陽子のいずれも電荷は1なので10.0 MeV となり、全エネルギーEはそれぞれの静止エネルギーに運動エネルギーを加えたものとなる。陽子の場合には10 MeV+938 MeVで948 MeVになる。

式(7)は

$$\beta = \frac{pc}{E} \text{と表され、}$$

陽子の場合

$$\beta = \frac{137}{948} \text{ となり } \beta \text{ は } 0.1445 \text{ となる。}$$

電子の場合

$$0.998 = \frac{pc}{10.5} \text{ となり運動量は } 10.479 \text{ MeV}/c \text{ となる。}$$

II 媒質中での光速 v_n を超える速度で荷電粒子が媒質を通過すると、B 光が放出される。媒質の屈折率が n の場合、 v_n は、

$$v_n = \frac{c}{n} \quad (8)$$

である。よって、B 光が放出される条件は荷電粒子の速度を v とすると、

$$v > v_n = \frac{c}{n} \quad (9)$$

となり、 n と β で表すと、

$$\text{C} > 1 \quad (10)$$

となる。

水の屈折率を $\frac{4}{3}$ とした場合、荷電粒子が水中でB 光を放出するしきいエネルギーは、電子の場合にはオ MeV、陽子の場合にはカ MeV となる。

放射性同位元素 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{63}Ni は β^- 線を放出するが、これらの核種の中で、放出された β^- 線が水中でB 光を放出する可能性のある核種はD である。

<B の解答群>

- 1 シンチレーション 2 チェレンコフ 3 レーザー
4 ストークス 5 エキシマ

<C の解答群>

$$1 \quad n\beta \quad 2 \quad n\beta^2 \quad 3 \quad n^2\beta \quad 4 \quad \frac{\beta}{n} \quad 5 \quad \frac{\beta^2}{n^2}$$

<オ、カの解答群>

$$1 \quad 0.13 \quad 2 \quad 0.26 \quad 3 \quad 0.39 \quad 4 \quad 0.51$$

$$5 \quad 120 \quad 6 \quad 240 \quad 7 \quad 480 \quad 8 \quad 940$$

<Dの解答群>

$$1 \quad {}^3\text{H} \quad 2 \quad {}^{14}\text{C} \quad 3 \quad {}^{32}\text{P} \quad 4 \quad {}^{35}\text{S} \quad 5 \quad {}^{63}\text{Ni}$$

〔解答〕 II B-2 C-1 オ-2 カ-7 D-3

〔解説〕 チェレンコフ光が放出される条件は(9)と(5)の式から

$$v_n = \frac{c}{n} = \frac{v}{n\beta} \quad \text{となり } n\beta > 1 \text{ となる}$$

水中でチェレンコフ光を発する電子の最低エネルギーを求めてみる。水の屈折率は $\frac{4}{3}$ であるから、水中の光の速度は、真空中の光の速度を c として $\frac{3}{4}c$ である。電子の運動エネルギー T は、質量を m 、速度を v として次式で与えられる。

$$T = \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - 1 \right\} mc^2$$

チェレンコフ光を発するのに必要な電子の速度 v は、 $v = \frac{3}{4}c$ 、すなわち $\frac{v}{c} = \frac{3}{4}$ であるから、

$$T = \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 - (3/4)^2}} - 1 \right\} mc^2 = 0.51 \times mc^2$$

電子の場合は $mc^2 = 0.511 \text{ MeV}$ であるから、 $T = 0.51 \times 0.511 = 0.26 \text{ MeV}$ になる。

陽子の場合は $mc^2 = 938 \text{ MeV}$ であるから、 $T = 0.51 \times 938 = 478 \text{ MeV}$ になる。

D：それぞれの核種の β 線エネルギーは、 ${}^3\text{H}$ ：0.018 MeV、 ${}^{14}\text{C}$ ：0.156 MeV、 ${}^{32}\text{P}$ ：1.711 MeV、 ${}^{35}\text{S}$ ：0.167 MeV、 ${}^{63}\text{Ni}$ ：0.0669 MeV であり、 ${}^{32}\text{P}$ 以外は低エネルギー β 線放出核種である。

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□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 放射性核種が壊変する際に原子番号が変化する場合があります。4つの壊変様式の下に示した数字は、壊変毎の原子番号の増減を表したものである。各壊変の原子番号の増減が正しく表記されているものは次のうちどれか。

	壊変様式			
	β^- 壊変	β^+ 壊変	軌道電子捕獲	核異性体転移
1	-1	+1	-1	+1
2	+1	-1	0	0
3	-1	+1	0	+1
4	+1	-1	+1	0
5	+1	-1	-1	0

〔解答〕5

〔解説〕

β^- 壊変： β^- 壊変は原子核内の中性子が陽子に変換し原子番号が1増加する。

β^+ 壊変： β^+ 壊変は原子核内の陽子が中性子に変化し原子番号が1減少する。

軌道電子捕獲：軌道を回っている電子が原子核に捕獲され、原子核内の陽子が中性子と中性微子（ニュートリノ： ν ）に変化し原子番号が1減少する。

核異性体転移：原子核の励起状態がすぐに基底状態に転移しない場合を核異性体といい、基底状態に移行する際にエネルギーを放出する。原子番号の変化はない。

問2 壊変定数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 分岐壊変をするある核種の部分壊変定数 λ_1 、 λ_2 と、この核種の全壊変定数 λ の間には

$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ の関係がある。

B 壊変定数 λ と平均寿命 τ の間には、 $\lambda \tau = 1$ の関係がある。

C 親核種(壊変定数 λ_1)と娘核種(壊変定数 λ_2)が $\lambda_1 < \lambda_2$ の関係があるときは過渡平衡になる。

D 壊変定数 λ と半減期 T の間には、 $\lambda T = 1/\ln 2$ の関係がある。

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

〔解答〕1

〔解説〕

A：正 分岐壊変とは α 壊変とEC壊変、 β 壊変と γ 崩壊、などの複数崩壊を含む壊変をいう。ここで親核X(壊変定数： λ)と分岐壊変で生成される娘核 Y_1 、 Y_2 (壊変定数： λ_1 、 λ_2)とする時の壊変定数には、 $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ の関係がある。

B：正 崩壊定数 λ は単位時間に崩壊する確率をいい、平均寿命 τ は原子数が初めの $1/e$ にまで減る時間をいう。

崩壊定数 λ は $\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t)$ であり、 $N(0) = N_0$ として $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ とあらわされる。

平均寿命 τ を考えるとき、時刻 t において残っている数は $N(t)$ であり、 $1/e$ になる時間が τ なので

$$N(t) = \frac{N_0}{e} \text{ は } \frac{N(t)}{N_0} = e^{-\lambda t} \text{ となり、 } \frac{N(\tau)}{N_0} = \frac{1}{e} = e^{-\lambda \tau} \text{ から } 1 = e^{1-\lambda \tau} \text{ すなわち } \lambda \tau = 1$$

となる。

C：正 親核種の半減期が娘核種の半減期よりも長い場合は過渡平衡に達し、十分な時間が経過すると娘核種は親核種の半減期で減衰するようになる。

D：誤 $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$ なので $\lambda T = \ln 2$

問3 ラジオグラフィ用 ^{192}Ir の密封線源 380 GBq を購入した。放射能が $1/10$ に減衰するまで使うとすると使用できる期間[日]に一番近いのは、次のうちどれか。

ただし、 $\ln 2 = 0.69$ 、 $\ln 10 = 2.3$ とし、 ^{192}Ir の半減期は 74 日とする。

1 150 2 200 3 250 4 300 5 350

〔解答〕 3

〔解説〕 放射能を A とする。

$$\begin{aligned} A &= A_0 \times e^{-\lambda t} \\ &= A_0 \times (1/2)^{t/T} \end{aligned}$$

$$A/A_0 = (1/2)^{t/T}$$

ここで $A/A_0 = 1/10$ であり、

$$(1/10) = (1/2)^{t/74}$$

両辺の対数をとって

$$\ln(1/10) = \ln (1/2)^{t/74}$$

対数の基本公式 $\ln X^y = y \times \ln X$ より

$$\ln(1/10) = t/74 \times \ln (1/2)$$

$$t = \ln 10 / \ln 2 \times 74$$

$$= 2.3/0.69 \times 74$$

$$\approx 250$$

問4 100 MBq の ^{90}Sr (半減期 29 年) と壊変して生成する核種 ^{90}Y (半減期 64 時間) が放射平衡にあるとき、原子数の比 ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$) として最も近い値は、次のうちどれか。

1 1.7×10^{-4} 2 2.5×10^{-3} 3 2.8×10^2 4 4.0×10^3 5 5.8×10^4

〔解答〕 4

〔解説〕 親核種 ^{90}Sr (親核種) と ^{90}Y (娘核種) が放射平衡にあるとき、永続平衡の状態にあり、放射能の強さは同じになる。

$$A = \lambda N \cdots \textcircled{1}$$

$$\lambda = \ln 2 / T \cdots \textcircled{2}$$

A : 放射能

N : 原子数 N_{Sr} : ^{90}Sr の原子数 N_{Y} : ^{90}Y の原子数

T : 半減期 T_{Sr} : ^{90}Sr の半減期 T_{Y} : ^{90}Y の半減期

① ②より

$$N = A / \lambda = A \times T / \ln 2$$

$$N_{\text{Sr}} = A \times T_{\text{Sr}} / \ln 2$$

$$N_{\text{Y}} = A \times T_{\text{Y}} / \ln 2$$

$$\begin{aligned} N_{\text{Sr}} / N_{\text{Y}} &= (A \times T_{\text{Sr}} / \ln 2) / (A \times T_{\text{Y}} / \ln 2) = T_{\text{Sr}} / T_{\text{Y}} \\ &= (29 \times 365 \times 24) / 64 \doteq 3969.4 \doteq 4.0 \times 10^3 \end{aligned}$$

問5 以下の元素のうち、複数の安定同位体をもつものの組合せはどれか。

A O

B Na

C Mg

D Co

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〕 安定同位体

A O: ^{16}O 、 ^{17}O 、 ^{18}O

B Na: ^{23}Na

C Mg: ^{24}Mg 、 ^{25}Mg 、 ^{26}Mg

D Co: ^{59}Co

問6 次の核種のうち、 β^- 線を放出するものの組合せはどれか。

A ^{22}Na

B ^{57}Co

C ^{60}Co

D ^{137}Cs

E ^{210}Po

- 1 AとB 2 AとE 3 BとD 4 CとD 5 CとE

[解答] 4

[解説]

A ^{22}Na : β^+ 壊変、EC壊変し、 β^+ 線、 γ 線を放出する

B ^{57}Co : EC壊変し、 γ 線を放出する

C ^{60}Co : β^- 壊変し、 β^- 線、 γ 線を放出する

D ^{137}Cs : β^- 壊変し、 β^- 線、 γ 線 ($^{137\text{m}}\text{Ba}$) を放出する

E ^{210}Po : α 壊変し、 α 線、 γ 線を放出する

問7 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A ^{11}C は年代測定に用いられる。

B 室内における Rn による被ばくの低減には、換気が有効である。

C ^{35}S は β^+ 壊変して ^{35}P になる。

D ^{40}K の壊変生成物は ^{40}Ar と ^{40}Ca である。

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

[解答] 5

[解説]

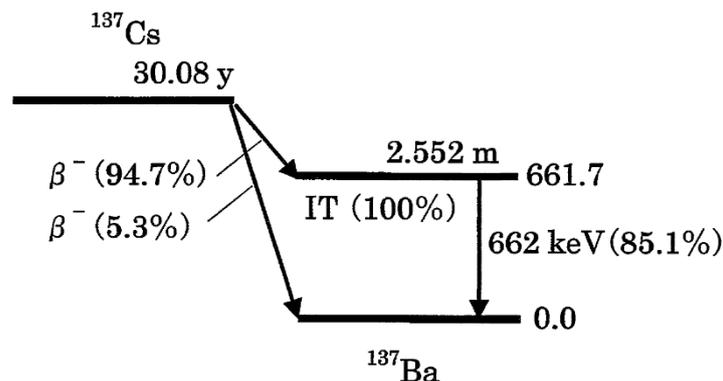
A: 誤 ^{14}C は年代測定に用いられるのは、 ^{14}C である。 ^{11}C はポジトロン核種であり、PET で用いられる。

B: 正

C: 誤 ^{35}S は β^- 壊変して ^{35}Cl になる。

D: 正 ^{40}K は β^- 壊変して ^{40}Ca 、EC (軌道電子捕獲) で ^{40}Ar になる。

問8 次の記述のうち、壊変図式からわかる正しいものの組合せはどれか。なお、 ^{137}Cs 密封線源は製造から十分時間が経過しているものとする。



- A ^{137}Cs の半減期は 30.08 年である。
B ^{137}Cs 密封線源では、 ^{137}Cs と ^{137}Ba は永続平衡の状態となっている。
C ^{137}Cs 密封線源中での ^{137}Cs と $^{137\text{m}}\text{Ba}$ の原子数は同じである。
D ^{137}Cs の壊変過程における 662 keV γ 線の放出割合は 80.6%である。
- 1 AとC 2 AとD 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 正答なし※

〔解説〕

A：正

B：誤 ^{137}Ba は安定同位体であるので放射平衡は成り立たない。親核種 ^{137}Cs と娘核種 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ とでは、 ^{137}Cs の半減期 $30.08\text{y} \gg ^{137\text{m}}\text{Ba}$ の半減期 2.552m であり、密封線源は製造から十分経過しているため永続平衡の状態にある。

C：誤 ^{137}Cs と $^{137\text{m}}\text{Ba}$ は永続平衡の状態にあり、放射能は等しいが原子数は異なる。

$$\begin{aligned} \text{原子数の比 } (^{137}\text{Cs} / ^{137\text{m}}\text{Ba}) &= \ln 2 / (2.552) / \ln 2 / (30.08 \times 365 \times 24 \times 60) \\ &= (30.08 \times 365 \times 24 \times 60) / 2.552 \approx 6 \times 10^7 \end{aligned}$$

D：誤 γ 線のエネルギーは 662 keV、その放出割合は 85.1 %である（「アイソトープ手帳 12 版」(日本アイソトープ協会) p.113)。実際には、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ が ^{137}Ba に 100 %核異性体転移するうち、89.9%が 662 keV の γ 線を放出し、残る 10.1%は内部転換によって電子を放出する。そのため、 ^{137}Cs の壊変当たりの 662 keV γ 線の放出割合は $94.7\% \times 100\% \times 89.9\% = 85.1\%$ となる。

※「令和5年度 第2種放射線取扱主任者試験における問題の誤りについて」(公益財団法人原子力安全技術センター) (<https://www.nustec.or.jp/news/pdf/20240501.pdf>) 参照

問9 放射線と物質の相互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 水中での LET は、3 MeV の陽子に比べて 15 MeV の陽子のほうが小さい。
B 水和電子は還元力をもつ。
C アラニン線量計は、放射線によるアラニンの重合反応を利用する。
D ラジカルスカベンジャーは、放射線照射で生成するラジカルを長寿命化する。
- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕 1

〔解説〕

A：正 放射線が物質中を通過する際、飛程の単位長さ当りに失うエネルギーを線エネルギー付与 (LET: Linear Energy Transfer) といい、単位には $\text{keV}/\mu\text{m}$ などがよく使われる。LET は放射線の電荷の 2 乗に比例し、エネルギーに反比例する。(出典: ATOMICA)

B：正 水和電子は還元力をもつ。

放射線は水に対して作用し、水分子をイオン化したり励起したりする。水分子のイオン化 (H_2O^+) は非常に不安定で、 10^{-15} 秒以内に分解して $\text{HO}\cdot$ と H_3O^+ とを生ずる。励起された水分子 (H_2O^*) は開裂して $\text{HO}\cdot$ と $\text{H}\cdot$ を生じる。水分子から飛び出した電子は他の水分子の間に捕らえられて eaq^- を生じる。これが水和電子である。(出典：ATOMICA)

C：誤 アラニン線量計は、アラニンを主成分としたパラフィン、フィルム等で作られた固体素子に放射線を照射した際に、その吸収線量に比例して生じるラジカルの相対濃度を電子スピン共鳴を用いて測定する。(出典：ATOMICA)

D：誤 ラジカルスカベンジャーは、放射線照射で生成するラジカルと反応し、その結果、生体高分子の損傷が軽減される。

問10 ^{241}Am 及びその密封線源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 ^{241}Am の壊変過程では、 α 線、 γ 線、X線が放出される。

B ^{241}Am 密封 γ 線源からは、 α 線と γ 線が放出されている。

C ^{241}Am 密封 α 線源からは、 α 線、 γ 線、X線が放出されている。

D ^{241}Am -Be 密封中性子線源からは、中性子のみが放出されている。

1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕 2

〔解説〕

A：正 ^{241}Am は α 壊変して ^{237}Np となる。その際に α 線の他に γ 線、娘核種である ^{237}Np の特性 X 線が放出される。

B：誤 ^{241}Am 密封 γ 線源はフィルタを含むため、放射性核種ではなく、特定のエネルギー範囲の γ 線の標準線源とみなされる。ステンレス鋼をフィルタとしてもつ ^{241}Am γ 線源は、放射性壊変に伴い放出される α 線および低エネルギー特性 XL 線を線源表面から放出しない。このような ^{241}Am γ 線源は、平均エネルギー約 60 keV の γ 線を放出する線源として設計されている。(引用：JIS 規格 Z4334:2019, 放射性表面汚染モニタ校正用標準線源— α 線, β 線及び X・ γ 線放出核種)

C：正

D：誤 ^{241}Am -Be は中性子線源であるが、 ^{241}Am が放射した α 粒子が ^9Be (α, n) ^{12}C の核反応を起こして n と γ 線が放出される。(「9 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) II 化学 p.74)

問11 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を1つだけ選べ。

I 放射線の吸収線量率測定に利用されるフリッケ線量計は、放射線照射によって□A□イオンが□ア□されて生成する□B□イオンの生成量が吸収線量に比例することを利用して□B□イオンの生成量は水溶液の吸光度を測定して求めることができる。

□C□値は物質中で放射線のエネルギー100 eVを吸収した際に生成するイオン数で定義され、フリッケ線量計のこの反応の□C□値は15.6である。

□A□イオンの硫酸塩水溶液100 gを1時間⁶⁰Co線源で照射した時、□B□イオンが 1.0×10^{19} 個生成した。この水溶液が吸収したエネルギーは□D□Jと見積もられる。ただし、 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ とする。この値から、水溶液□E□gあたりに換算することによって、水溶液が吸収した線量率 $[\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}]$ を求めることができる。

<A、Bの解答群>

- 1 Fe²⁺ 2 Fe³⁺ 3 Cu⁺ 4 Cu²⁺ 5 Ce³⁺
6 Ce⁴⁺

<アの解答群>

- 1 中和 2 還元 3 酸化 4 分解 5 分離
6 析出

<Cの解答群>

- 1 A 2 G 3 K 4 Q 5 S
6 W

<Dの解答群>

- 1 0.1 2 0.2 3 0.6 4 1.0 5 1.6
6 6.0 7 10 8 60 9 160

<Eの解答群>

- 1 0.1 2 1 3 10 4 100 5 1,000

[解答] I A-1 B-2 ア-3 C-2 D-7 E-5

[解説]

A, B, ア：フリッケ線量計はFe²⁺がFe³⁺に酸化される原子数が、放射線量に比例することを利用する線量計である。(「第12版 放射線概論」(通商産業研究社) p284)

C：G値は物質が100 eVの放射線のエネルギーを吸収した時に変化を受ける原子や分子種の個数である。フリッケ線量計におけるFe²⁺の酸化反応でのG値は15.6である。(「9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) II化学 p.55)

D：Cより100 eVを吸収した時の生成するイオン数は15.6個である。

よってFe³⁺イオンが 1.0×10^9 個生成された時の吸収したエネルギーは以下の式で求められる。

$$100 \text{ eV} : 15.6 \text{ 個} = D \text{ (eV)} : 1.0 \times 10^9 \text{ 個}$$

$$D \text{ (eV)} = 1.0 \times 10^{21} / 15.6$$

また eV を J にするために 1.6×10^{-19} をかける。

$$\text{よって、} D \text{ (J)} = 1.6 \times 10^2 / 15.6 \approx 160 / 16 = 10$$

E : 1Gy はある放射線が 1 kg の物質に 1 J のエネルギーを与えた場合の吸収線量 (J/kg) である。

よって D で求めた吸収したエネルギー (J) を水溶液 1000 g (1 kg) に換算することによって Gy を求めることができる。

II 気体中で、放射線によって 1 対のイオン対を作るのに必要な平均エネルギーを **F** 値という。
F 値は気体の **G** により変化するが、放射線の種類やエネルギーにはあまり依存しないことが知られている。ある気体の **F** 値が 33 eV のとき、その気体のイオン生成の **C** 値は約 **H** となる。

<F の解答群>

- 1 A 2 G 3 K 4 Q 5 S
6 W

<G の解答群>

- 1 種類 2 密度 3 温度 4 粘度 5 圧力

<H の解答群>

- 1 0.3 2 0.6 3 1 4 3 5 10
6 30 7 100 8 300

[解答] II F-6 G-1 H-4

[解説]

F, G : W 値は 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。気体の種類には依存するが、同じ気体であれば放射線の種類やエネルギーにあまり依存しない。(「9 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) II 化学 p.53)

H : 1 対のイオン対を作るのに 33 eV 必要な時、100eV で作られるイオン数を考える。

$$1 \text{ 個} : 33 \text{ eV} = H : 100 \text{ eV}$$

$$33H = 100 \quad \text{よって} \quad H \approx 3$$

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 生体を構成する分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 生体を構成する分子として最も多いのは水である。
- B タンパク質の翻訳後修飾は細胞内の情報伝達に関わる。
- C 不要になったタンパク質は分解される。
- D 核酸はアミノ酸が鎖状に連結した高分子である。

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

〔解答〕 1

〔解説〕

A：正 水>>タンパク質>核酸>糖質・脂質

B：正

C：正

D：誤 核酸はヌクレオチドが鎖状に連結した高分子である。タンパク質はアミノ酸が鎖状に連結した高分子である。

問2 γ 線の生物作用を利用した応用例と照射される γ 線の吸収線量として、適切なものの組合せは次のうちどれか。

応用例	吸収線量
A 動物飼料の滅菌	5 Gy
B ウリミバエの不妊化	70 Gy
C ジャがいもの芽止め	100 Gy
D 米の品種改良	300 Gy

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 滅菌（完全な殺菌） 20.0-50.0 kGy*¹

B：正 殺虫及び不妊化 0.1-1.0 kGy*²

C：正 発芽防止 0.03-0.15 kGy*³

D：正 品種改良 ⁶⁰Co ガンマ線（数10~数100Gy）*³

*¹ 原子力委員会食品照射専門部会「食品への放射線照射について」2006年9月26日

*² 「植物防疫所調査研究報告，22：11-21（1986）」

*³ 「第13版 放射線概論」（通商産業研究社）p.538

問3 次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 ベルゴニー・トリポンドーの法則では、分裂が盛んな組織ほど感受性が高く、細胞が未分化なほど感受性が低くなる。
- 2 放射線による脱毛は、真皮に存在する毛根細胞が死滅することで起こる。
- 3 5 Gy の X 線を急性全身被ばくした場合、最初に生じる症状は吐き気および嘔吐である。
- 4 放射線白内障は、しきい線量が 10 Gy 程度とされている。
- 5 50 Gy の X 線を急性全身被ばくした場合の中枢神経症状は、大脳の神経細胞が減少することで生じる。

〔解答〕 3

〔解説〕

- 1: 誤 ベルゴニー・トリポンドーの法則では細胞が未分化なほど感受性が高くなる。
- 2: 誤 毛のうは放射線感受性が高く、1~2 Gy で毛髪の成長が一時的に止まる。3 Gy では3週後に脱毛が起こる。(「9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) III生物学 p.38)
- 3: 正 被ばくしてから48時間以内に放射線宿酔と呼ばれる吐き気、嘔吐、下痢などの消化管症状と疲労感、めまい、頭痛といった中枢神経症状が見られる。(「第12版放射線概論」(通商産業研究社) p.369)
- 4: 誤 放射線白内障のしきい値は0.5 Gyであり、また急性被ばくと慢性被ばくにおけるしきい線量の違いはないとしている(ICRP Pub. 118より)。
- 5: 誤 50 Gyの線量で被ばくすると脳の血管浸透性亢進による脳浮腫により神経細胞を圧迫し神経機能の停止から死に至る。(「第12版放射線概論」(通商産業研究社) p.372)

問4 放射線発がん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 ラジウム時計文字盤工(ダイヤルペインター)において、骨がんの増加が見られた。
 - B ウラン鉱山労働者において、肺がんの増加が見られた。
 - C トリウムを含む造影剤(トロトラスト)を投与された患者において、肝がんの増加が見られた。
 - D チョルノーベリ(チェルノブイリ)原子力発電所事故後に、小児の甲状腺がんの増加が見られた。
- 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 ^{226}Ra は骨親和性核種である。ダイヤルペインターは筆先を口先で整えることで夜光塗料に含まれていた放射性ラジウム(^{226}Ra)を経口摂取し、骨腫瘍や骨肉腫が発生した。(「第12版放射線概論」(通商産業研究社) p.407)

- B: 正 ウランを採掘する際にラドンガス (^{222}Rn) を吸入したことで肺がんが発生した。(「9 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)III生物学 p.55)
- C: 正 過去に用いられていたトロトラストは二酸化トリウム (ThO_2) からなる造影剤で、このトロトラストは肝臓に集積し、投与された患者に肝臓がんが発生した。
- D: 正 チェルノブイリ原発事故による子供たちの内部被ばく線量と甲状腺がんのリスクの関係については、チェルノブイリ原発事故のコホート研究により示されている。甲状腺が1 Gy の放射線を受けると、甲状腺がんになる可能性が2倍になる。4歳以下の幼児の場合にはこれよりも高くなる。(引用: 環境省: 放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 (平成28年度版), 第3章 放射線による健康影響, 3.6 がん・白血病)

問5 次の放射線障害のうち、確率的影響に分類されるものの組合せはどれか。

- A 遺伝性(的)影響
- B 不妊
- C 白血病
- D 奇形

- 1 ACDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 BDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕 3

〔解説〕

- A: 正 確率的影響はがんと遺伝的影響である。
- B: 誤 不妊はがん以外の身体的影響であるので確定的影響である。
- C: 正 白血病はがんの一種であるので確率的影響である。
- D: 誤 奇形はがん以外の身体的影響であるので確定的影響である。

問6 環境放射線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 環境中に存在するトリチウムは、原子力発電所由来のものがほとんどである。
- B 環境中に存在する ^{137}Cs は、人工的に生成されたものがほとんどである。
- C 日本における自然放射線による1人当たりの年間の平均被ばく線量は、内部被ばくより外部被ばくのほうが多い。
- D 日本における自然放射線による1人当たりの年間の平均被ばく線量は、世界平均よりも低い。

- 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〕

- A: 誤 ^3H は天然放射性核種(誘導放射性核種)であり、宇宙線と ^{14}N との核反応により生成される。

- B: 正 人工的に生成された ^{137}Cs 以外は天然ではほとんど存在しない。
- C: 誤 日本における自然放射線源による年間の平均被ばく線量は、内部被ばくが約 1.45 mSv、外部被ばくが約 0.63 mSv であり、内部被ばくのほうが多い。
- D: 正 自然放射線源による年間の平均被ばく線量は日本平均が 2.1 mSv、世界平均が 2.4 mSv であり、日本平均のほうが高い。

問7 X線照射による同一吸収線量でのDNA損傷の生成頻度(正常ヒト細胞1個あたりの生成数)の比較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 有酸素条件下の照射は、無酸素条件下の照射に比べてDNA鎖切断の生成頻度が低い。
- B DNA損傷の生成頻度への間接作用による寄与は、直接作用による寄与よりも大きい。
- C DNA二本鎖切断の生成頻度は、DNA塩基損傷の生成頻度よりも高い。
- D DNA-タンパク質架橋の生成頻度は、DNA一本鎖切断の生成頻度よりも低い。
- 1 ACDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 BDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕 4

〔解説〕

- A: 誤 放射線の生体への作用が酸素の存在で増強される、いわゆる酸素効果があるため、有酸素状態の方が無酸素状態より、DNA切断が起こりやすい。
- B: 正 生体内や、細胞内には水が多量に含まれているため、水分子の電離によるラジカル生成が起こりやすく、間接作用によって生体高分子やDNAに作用する。
- C: 誤 DNA二本鎖切断は高LET放射線で起こり、DNA塩基損傷を起こす放射線より高いエネルギーを必要とするため生成頻度が低い。
- D: 正 チャイニーズハムスター細胞を用いた研究から各事象の生成頻度は、DNA一本鎖切断(500-600/Gy/Cell)、DNA-タンパク質架橋(150/Gy/Cell)、DNA二本鎖切断(40/Gy/Cell)となっており(Free Radical Biology 107, 136-145, 2017)、DNA-タンパク質架橋は、DNA一本鎖切断より起こりにくい。

問8 放射線によって生じる次の染色体異常のうち、安定型異常の組合せはどれか。

- A 環状染色体
- B 欠失
- C 転座
- D 二動原体染色体
- 1 AとC 2 AとD 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 3

〔解説〕 染色体異常のうち一ヶ所切断と誤った結合で生じるものとしては、欠失、転座、逆位などがある。染色体の形状が正常に近いいため安定的に存在するため安定型染色体異常と呼ばれる。一方、二

ヶ所の切断と誤った再結合から生じる環状染色体や二動原体染色体が細胞内にあると、正常な分裂を続けることができず、細胞死を起こすことになり、短期間しか生存できなくなる。それゆえ、不安定型染色体異常と言われる。

問9 次の照射条件で正常ヒト線維芽細胞を2 Gy 照射したときの、生存率の高さが正しく示されているものはどれか。

- A 大気環境下での 250 kVp X 線
- B 100%窒素ガス環境下での 250 kVp X 線
- C 100%酸素ガス環境下での 250 kVp X 線
- D 大気環境下でのがん治療用重粒子線のブラッグピーク部

- 1 A > B ≒ C > D
- 2 B > C ≒ D > A
- 3 B > A ≒ C > D
- 4 A ≒ C > D > B
- 5 C > A ≒ B > D

〔解答〕 3

〔解説〕 選択肢 A~C では、同じエネルギーを持つ X 線の異なる酸素濃度における照射による比較をしているものである。一般に細胞の酸素分圧が高くなるにつれて放射線の生物効果（死滅させる効果）は上昇するが、酸素分圧 20 mmHg を超えるとほぼ一定となる。大気環境下では、酸素は 21% であるため、大気中の酸素分圧は $760 \text{ mmHg} \times 0.21 = 159.6 \text{ mmHg}$ となる。既に 20 mmHg を超えているため、大気中の酸素分圧であれ、100 %酸素存在下であれ、酸素効果はほぼ一定となる。高 LET である重粒子線では酸素効果は大きくないが、照射量が同じ 2 Gy でも、細胞の生存率はかなり低くなることが知られている。

以上のことから、生存率は、 $B > A = C > D$ となるものと考えられる。

問10 放射線の医学利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 X 線によるがん治療では、分割照射が行われている。
- B 陽子線によるがん治療では、ブラッグピークを利用している。
- C MRI 検査では、 β^- 線源が用いられている。
- D PET 診断では、 β^- 線源が用いられている。

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

〔解答〕 2

〔解説〕

A：正 放射線治療では一般に分割照射が行われており、分割照射により生じる様々な生物効果によって治療効果が向上すると考えられている。

- B：正 陽子線、重粒子線治療では、体内の特定の深さで急激に線量付与が高くなるブラッグピークを利用している。
- C：誤 MRI 検査では、核磁気共鳴反応を原理としているため、 β^- 線源は用いられない。
- D：誤 PET 診断では、 β^+ 崩壊により陽電子を放出する核種である ^{11}C , ^{18}F などの標識化合物を投与し、集積部位での陽電子と陰電子の結合より生じる消滅 γ 線を検出するものである。

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。

骨髄などにある造血組織は、人体中で最も放射線感受性の高い組織・器官の1つである。骨髄中にはすべての血球の元となる造血幹細胞があり、これから増殖分化した細胞が、成熟して赤血球や白血球などとして末梢血中に供給されていく。X線やγ線を全身に急性被ばくした後に適切な医療処置を行わない場合、60日以内に約50%が死亡する線量(半致死線量)は□ア Gy程度であるが、この時の主な死因はこの造血組織の損傷である。被ばくした造血幹細胞は増殖が阻害され、血球の末梢血への供給が止まる。すると末梢血中での血球の寿命に応じて末梢血中の細胞数が減少してその機能が果たされなくなり、個体の死に至る場合もある。末梢血中の血球数減少の程度や時期、期間は、被ばく線量や血球の種類によって異なる。

赤血球は全身の組織に□Aを運ぶ働きをし、□Bは傷口で血液を凝固させ出血を止める働きをする。血球系の中で末梢血中の血球数減少が遅いのは赤血球と□Bである。この両者には核がなく放射線致死感受性が低いため、血球の寿命を迎えてから血球数が減少する。□Bの寿命は7日から10日と言われている。さらに赤血球では寿命が約□イ日程度と長いので骨髄からの供給低下の影響が現れにくい。これに対し、末梢血中の血球数が最も早く減少するのは□Cである。これは、末梢血への供給減少に加えて、末梢血中の成熟した細胞が放射線被ばく後□Dによる急激な細胞死を起こすためである。このため末梢血中の細胞数は被ばく後24時間以内に急速に減少し、回復も遅い。□Cは□E機能を担う細胞であるため、これが減少すると感染症を起こしやすくなる。

死亡を免れて回復、生存できた場合でも、損傷を受けた造血組織の細胞に突然変異が起こるなどして発がん(白血病など)に繋がる可能性がある。造血組織は発がんに関しても放射線感受性が高いとされている。ICRP2007年勧告は、個々の臓器・組織における放射線発がんの遺伝性(的)影響の起こりやすさを考慮して□F係数を定めており、骨髄(赤色)には□ウが与えられている。これはICRP2007年勧告中で最も大きい数値である。原爆被爆生存者の追跡調査では、白血病は固形がん□G発症している。

<アの解答群>

- 1 1~2 2 3~5 3 6~10 4 11~16

<A~Dの解答群>

- | | | |
|-----------|-----------|--------------|
| 1 グルコース | 2 ブドウ糖 | 3 アミノ酸 |
| 4 酸素 | 5 窒素 | 6 DNA |
| 7 赤血球 | 8 脂肪球 | 9 リンパ球 |
| 10 血小板 | 11 アポトーシス | 12 エンドサイトーシス |
| 13 ネクローシス | | |

<イの解答群>

- 1 15 2 30 3 60 4 120 5 240
6 360

<E~Gの解答群>

- | | | |
|------------|------------|------------|
| 1 運動 | 2 消化 | 3 呼吸 |
| 4 免疫 | 5 線質 | 6 放射線加重 |
| 7 線量・線量率効果 | 8 組織加重 | 9 より早い時期から |
| 10 と同時期に | 11 より遅い時期に | |

<ウの解答群>

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 0.01 | 2 0.04 | 3 0.05 | 4 0.08 | 5 0.12 |
| 6 0.20 | | | | |

[解答] アー2 A-4 B-10 C-9 D-11 イー4 E-4 F-8 G-9 ウー5

[解説]

ア：骨髄死（造血障害死）に関する線量は、 $LD_{50(30)}$ で表される。被曝した動物の半数が一定期間内（30日）に死亡する線量を半数致死線量という。哺乳動物では、 $LD_{50(30)}$ は動物種より異なるが10Gyを超えることはない。一方ヒトでは動物と比べ死亡までの期間が長く $LD_{50(60)}$ で表し、4Gy程度である。

A～E：全ての血球成分の分化成熟は、骨髄内の造血系幹細胞で行われる。この内、骨髄系幹細胞からは、全身に酸素を運搬する赤血球、出血部位で一次血栓を形成する血小板、感染防御と異物除去に係る好中球、好酸球、好塩基球などの顆粒球、マクロファージに分化する単球などに分化成熟する。この内、赤血球は分化過程で脱核のため、また血小板は巨核球から無核の細胞片として分化成熟するため、DNAを持たない。それゆえ放射線に対する感受性は低い。

また、リンパ球系幹細胞からは、細胞性免疫に関わるT細胞、抗体産生に関わるB細胞が分化成熟する。リンパ球、顆粒球などの白血球は、DNAを含んでいるため放射線に対する感受性が高い。

F,G,ウ：ICRP2007年勧告で提示された組織加重係数は、骨髄（赤色）、結腸、肺、胃、乳房が0.12、生殖腺が0.08、膀胱、肝臓、食道、甲状腺が0.04、皮膚、骨表面、脳、唾液腺が0.01、これら以外の臓器・組織が0.12（総和が1.00となる）。

白血病の発症には被ばく後2～3年の潜伏期間を経て発生し始め、7～8年で発症のピークを迎え、その後減少する。潜伏期の最も短いがんである。（「9版 放射線取扱の基礎」（日本アイソトープ協会）p.45）