

令和 2 年度

第 1 種放射線取扱主任者試験

問題と解答例

化学

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。

令和2年度放射線取扱主任者試験

正誤表

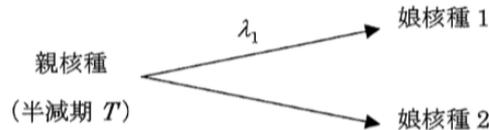
試験日	令和2年12月28日(月)
試験区分	1時限目(10:00~11:50)
	第1種
課目	化学
板書事項	5 ページ 問 13 選択肢 B (誤)・・・( $\beta^+$ 壊変) (正)・・・(EC 壊変)

※問題と解答例では正誤の対応済みです。

(令和2年度) 第1種化学

次の問1から問30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31、問32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 半減期が  $T$  の親核種が、娘核種1と娘核種2に分岐壊変する。娘核種1への部分壊変定数が  $\lambda_1$  であるとき、娘核種2への壊変の部分半減期を表す式は次のうちどれか。



- 1  $\frac{\ln 2 - \lambda_1 T}{\lambda_1}$     2  $\frac{1 - \lambda_1 T}{\lambda_1 \ln 2}$     3  $\frac{T \ln 2}{\ln 2 - \lambda_1 T}$     4  $\frac{T}{\lambda_1 T - \ln 2}$     5  $\frac{\ln 2 - \lambda_1 T}{\lambda_1 \ln 2}$

[解答] 3

注) 分岐壊変の場合、壊変定数  $\lambda$  と部分壊変定数  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  の関係は、 $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$  である。

ここで、 $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$ 、 $\lambda_2 = \frac{\ln 2}{T_2}$  を代入すると、

$$\frac{\ln 2}{T_2} = \frac{\ln 2}{T} - \lambda_1 \quad T_2 = \frac{T \ln 2}{\ln 2 - \lambda_1 T}$$

問2 調製時に放射能が 200 MBq であった  $^{68}\text{Ge}$  (半減期 271 日) 線源がある。現在の  $^{68}\text{Ga}$  (半減期 68 分) の放射能を測定したところ 0.20 MBq になっていた。調製時から何年経過しているか。最も近い値は次のうちどれか。

- 1 0.13    2 1.4    3 5.5    4 7.4    5 10

[解答] 4

注) 親核種の半減期 ≧ 娘核種の半減期の時、永続平衡が成り立ち、両核種の放射能は等しい。

調整時が 200 MBq であり、現在測定した際が 0.2 MBq であるので、1/1000 に減衰していることから、おおよそ 10 半減期 (1/1024 に減衰) が経過していることが分かる。親核種の半減期が 271 日なので、10 半減期は 2710 日となり、年換算すると、7.4 年となる。

問3 核種 X (半減期 30 分) と核種 Y (半減期 60 分) の 2 種類の放射性核種がある。両核種の娘核種はいずれも安定核種である。はじめ ( $t=0$ ) における核種 X と核種 Y の放射能の和は 12 kBq だったが、60 分後には 3.5 kBq となった。 $t=0$  における核種 X の放射能 [kBq] として最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 2    2 4    3 6    4 8    5 10

(令和2年度) 第1種化学

[解答] 5

注)  $t = 0$  のとき、核種 X の放射能を  $X_0$ 、核種 Y の放射能を  $Y_0$  とすると、

$$0 \text{ 分} \quad : \quad X_0 + Y_0 = 12 \quad [\text{kBq}]$$

$$60 \text{ 分後} \quad : \quad X_0/4 + Y_0/2 = 3.5 \quad [\text{kBq}]$$

$$\therefore X_0 = 10 \quad [\text{kBq}]$$

問4 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。ただし、原子番号を  $Z$ 、中性子数を  $N$  とする。

- A 安定同位体では、 $Z$  と  $N$  がともに偶数のものが最も多い。
- B  $Z$  が奇数で  $N$  が偶数の原子核が  $\beta$  壊変すると、 $Z$  と  $N$  とともに偶数の原子核になる。
- C  $Z$  と  $N$  の和が 8 となる安定同位体はない。
- D 単核種元素の  $Z$  は、すべて奇数である。

E  $Z$  と  $N$  が等しい安定同位体のうち、 $Z$  と  $N$  の和の最大値は 40 である。

- 1 ABC のみ      2 ABD のみ      3 ACE のみ      4 BDE のみ      5 CDE のみ

[解答] 3

注) A : 正 同位体は陽子と中性子の数がともに偶数のものが最も多く存在する。安定同位体のみについても同様である。

B : 誤  $\beta^-$  壊変は原子番号が 1 増えて、中性子数が 1 減るため正しくない。

C : 正 質量数が 5 と 8 の安定同位体は存在しない。

D : 誤 単核種元素には原子番号 4 の Be があるため、すべて奇数ではない。

E : 正 原子番号が大きくなると陽子数に対して中性子の割合が多くなる。陽子数と中性子数が同数で最大の質量数を持つ安定同位体は  $^{40}\text{Ca}$  である。

問5 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 放射性核種の放射能とそれが属する元素の原子量との比を、その放射性核種の比放射能という。
- B 無担体の放射性核種は、その安定同位体を伴わない。
- C  $\beta$  壊変する放射性核種の比放射能は、無担体のとき最大値となる。
- D 無担体の  $\alpha$  壊変する放射性核種の比放射能は、その半減期で減少する。

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

[解答] 3

注) A : 誤 放射性核種の属する元素の単位質量あたりの放射能が比放射能である。

B : 正 無担体は安定同位体を含まない状態をいう。

C : 正 無担体は安定同位体を含まないため比放射能も無担体のとき最大である。

D : 誤  $\alpha$  壊変では質量も変化するため比放射能は半減期に比例関係にはない。

問6 ある溶液中の  $^{33}\text{P}$  濃度  $[\text{Bq} \cdot \text{mL}^{-1}]$  を GM カウンタで測定するため、以下の操作を実施した。  $^{33}\text{P}$  濃

(令和2年度) 第1種化学

度[Bq・mL<sup>-1</sup>]として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、操作中の減衰は無視する。

操作A アルミニウム製の試料皿に溶液 0.100 mL をとり蒸発乾固した。

操作B GMカウンタのバックグラウンドを 100 分間測定した。4,000 カウントであった。

操作C 操作A で得た試料を 5 分間測定した。2,500 カウントであった。

操作D <sup>33</sup>P(1 kBq)の標準線源を試料と同じ位置で 10 分間測定した。10,000 カウントであった。

なお、操作A での試料の損失、操作B~D での測定における数え落としや自己吸収は無視する。

- 1  $2.1 \times 10^2$       2  $5.0 \times 10^2$       3  $2.1 \times 10^3$       4  $4.8 \times 10^3$       5  $2.1 \times 10^4$

[解答] 4

注) <sup>33</sup>P の試料の放射能濃度を X [Bq・mL<sup>-1</sup>]とする。

操作A で取り出した放射能は 0.1X [Bq] となる。

操作B から、GMカウンタのバックグラウンド計数率は、40cpm

操作C から、試料の計数率は 500cpm であるため、正味計数率 460cpm

操作D から、1kBq の標準線源は計数率が 1000cpm で、正味計数率 960cpm

測定位置は同じであり、試料損失や数え落とし、自己吸収は考慮する必要がないので、試料と標準線源を比較して、

$$0.1X/1000=460/960$$

$$\therefore X \doteq 4.8 \times 10^3 \text{ [Bq} \cdot \text{mL}^{-1}\text{]}$$

問7 <sup>49</sup>Ca (半減期 8.7 分) を(n, γ)反応を利用して製造する。次のように照射条件を変更すると、照射終了直後の<sup>49</sup>Ca の放射能が 2 倍以上増える組合せはどれか。ただし、記述以外の条件は同一とする。

A 照射する Ca の質量を 0.1 g から 1 g に増やす。

B 照射する中性子フルエンス率を 3 倍に増やす。

C 中性子フルエンス率を変えずに、熱外中性子束/熱中性子束の比を 4 倍に変える。

D 照射時間を 10 分間から 30 分間に長くする。

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

[解答] 2

注) 照射直後の放射能 A は、

$$A = f \sigma N (1 - e^{-\lambda t}) \text{ で表される。}$$

f : 中性子束 (n/cm<sup>2</sup>・sec)

σ : 放射化断面積 (cm<sup>2</sup>)

N : 分析対象元素中の同位体の原子数

A : 正 N が 10 倍になるので、生成される放射能は 10 倍。

B : 正 f が 3 倍なので、生成される放射能は 3 倍。

C : 誤 熱中性子の割合が減るので、生成される放射能は減少する。

D : 誤 飽和係数(1 - e<sup>-λt</sup>)では照射時間を増やしても飽和し (1 を超えない)、10 分間の照射

(令和2年度) 第1種化学

で0.5(8.7分照射)以上なので、2倍以上にはならない。

問8 次の核反応のうち ${}^7\text{Be}$ を生成するものの組合せはどれか。

A  ${}^4\text{He}(\alpha, n)$

B  ${}^7\text{Li}(p, n)$

C  ${}^{10}\text{B}(n, \alpha)$

D  ${}^{12}\text{C}(\gamma, \alpha n)$

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

[解答] 2

注) A: 正  $(\alpha, n)$ 反応により、反応後は原子番号が2増えて、質量数が3増えるため、 ${}^4\text{He}(\alpha, n){}^7\text{Be}$ となる。

B: 正  $(p, n)$ 反応により、反応後は原子番号が1増えて、質量数が増減しないため、 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ となる。

C: 誤  $(n, \alpha)$ 反応により、反応後は原子番号が2減って、質量数が3減るため、 ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ となる。中性子捕獲療法で用いられる核反応である。

D: 正  $(\gamma, \alpha n)$ 反応により、反応後は原子番号が2減って、質量数が5減るため、 ${}^{12}\text{C}(\gamma, \alpha n){}^7\text{Be}$ となる。

問9 次の核種のうち、熱中性子による ${}^{235}\text{U}$ の核分裂で累積収率が5%以上で生成する核種の組合せはどれか。ただし、全収率を200%とする。

A  ${}^{60}\text{Co}$

B  ${}^{90}\text{Sr}$

C  ${}^{111}\text{Ag}$

D  ${}^{129}\text{I}$

E  ${}^{137}\text{Cs}$

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

[解答] 4

注) 核分裂収率はある放射性核種を生成する核分裂の総数の何%に当たるかを示したものである。

${}^{235}\text{U}$ の核分裂では図の様に質量数が95と138付近で極大(核分裂収率約6%)となる。

このため、核分裂収率が5%以上のものは質量数が95と138付近のものを探せば良いため、答えはBとEである。

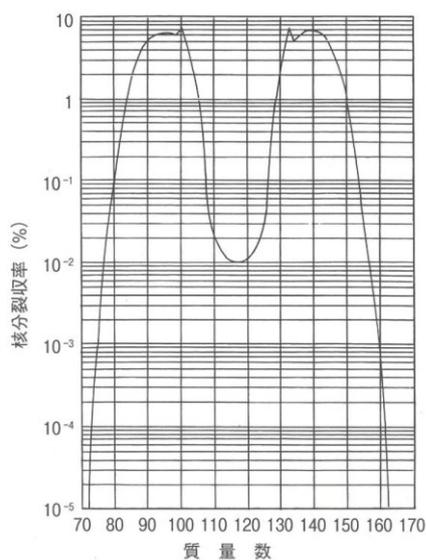


図 3.1  $^{235}\text{U}$  の低速中性子核分裂の核分裂収率曲線

(放射線取扱の基礎：日本アイソトープ協会から引用)

問 10 次の元素のうち、安定同位体が 1 種類のみの元素の組合せはどれか。

- A F
- B Na
- C Al
- D Sn

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

[解答] 1

注) 単核種元素とは安定同位体が 1 つしか存在しないものであり、 $^9\text{Be}$ 、 $^{19}\text{F}$ 、 $^{23}\text{Na}$ 、 $^{27}\text{Al}$  など 19 元素がある。Sn は、10 種類の安定同位体をもつ。

問 11 テクネチウムについての次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A モリブデンの同族元素である。
- B 水溶液中では  $\text{TcO}_4^-$  が安定である。
- C  $^{99}\text{Tc}$  は  $^{235}\text{U}$  の核分裂で生成する。
- D  $^{99}\text{Tc}$  は  $\gamma$  線スペクトロメトリーで同定できる。

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

[解答] 3

注) A：誤 モリブデンが  $\beta^-$  壊変して原子番号が 1 増加してテクネチウムとなるので同族ではない。

B：正 過テクネチウム酸ナトリウム ( $\text{TcO}_4^- \text{Na}^+$ ) 水溶液中では安定しており、放射性医薬品としても用いられている。

(令和2年度) 第1種化学

C : 正 核分裂核種の生成量は、質量数 235 の 2/5 (94) と 3/5 (141) にピークがあり、 $^{99}\text{Tc}$  は生成する。

D : 誤  $^{99}\text{Tc}$  は  $\gamma$  線を放出しないため、 $\gamma$  線スペクトロメトリーでの同定はできない。

問 12 アクチノイド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 最も安定な酸化状態はいずれの元素についても 3 価である。

B  $^{238}\text{U}$  の比放射能は  $^{232}\text{Th}$  の比放射能の約 3 倍である。

C  $^{238}\text{U}$  の中性子捕獲で生成した  $^{239}\text{U}$  は  $^{239}\text{Np}$  を経て、 $^{239}\text{Pu}$  となる。

D  $^{241}\text{Am}$  線源からは  $\text{Pu}$  の特性 X 線が放出される。

E  $^{252}\text{Cf}$  からの核分裂片を照射して、材料中の水の分布を調べることができる。

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

[解答] 3

注) A : 誤 ウラン酸化物は 4 価 ( $\text{UO}_2$ ) が安定で、その他の酸化数では不安定である。

B : 正  $^{238}\text{U}$  の半減期 ( $4.468 \times 10^9 \text{y}$ ) は  $^{232}\text{Th}$  ( $1.405 \times 10^{10} \text{y}$ ) の約 3 分の 1 である。質量数は、ほぼ同じなので、比放射能は半減期の比で求められる。

C : 正 原子炉における  $^{238}\text{U}$  から  $^{239}\text{Pu}$  の生成過程である。

D : 誤  $^{241}\text{Am}$  は 100%  $\alpha$  壊変するため (原子番号が 2 減るため)、 $\text{Pu}$  は生成されない。

E : 誤 水分計は、水素による中性子の減衰を利用して水分量を測定する。

問 13 次の放射性核種のうち、壊変して安定核種が生成するものの組合せはどれか。ただし、( ) 内は壊変様式を示す。

A  $^{27}\text{Mg}$  ( $\beta^-$ 壊変)

B  $^{59}\text{Ni}$  (EC 壊変)

C  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (核異性体転移)

D  $^{127}\text{Xe}$  (EC 壊変)

E  $^{241}\text{Am}$  ( $\alpha$  壊変)

1 ABC のみ      2 ABD のみ      3 ACE のみ      4 BDE のみ      5 CDE のみ

[解答] 2

注) A : 正  $^{27}\text{Mg}$  ( $\beta^-$ 壊変)  $\rightarrow$   $^{27}\text{Al}$  (安定核種)

B : 正  $^{59}\text{Ni}$  (EC 壊変)  $\rightarrow$   $^{59}\text{Co}$  (安定核種)

C : 誤  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (核異性体転移)  $\rightarrow$   $^{99}\text{Tc}$  ( $\beta^-$ 壊変)  $\rightarrow$   $^{99}\text{Ru}$  (安定核種)

D : 正  $^{127}\text{Xe}$  (EC 壊変)  $\rightarrow$   $^{127}\text{I}$  (安定核種)

E : 誤  $^{241}\text{Am}$  ( $\alpha$  壊変)  $\rightarrow$   $^{237}\text{Np}$  ( $\alpha$  壊変)  $\rightarrow$   $^{233}\text{Pa}$   $\rightarrow$

問 14 次の質量数順に並べられた核種のうち、放射性同位体、安定同位体、放射性同位体の順に並んでいるものの組合せはどれか。

A  $^{15}\text{O}$        $^{16}\text{O}$        $^{17}\text{O}$

(令和2年度) 第1種化学

B	$^{36}\text{Cl}$	$^{37}\text{Cl}$	$^{38}\text{Cl}$
C	$^{41}\text{K}$	$^{42}\text{K}$	$^{43}\text{K}$
D	$^{45}\text{Ca}$	$^{46}\text{Ca}$	$^{47}\text{Ca}$
E	$^{74}\text{As}$	$^{75}\text{As}$	$^{76}\text{As}$

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

[解答] 5

- 注) A : 誤  $^{15}\text{O}$  (半減期 122 s)、 $^{16}\text{O}$  (安定同位体)、 $^{17}\text{O}$  (安定同位体)  
B : 正  $^{36}\text{Cl}$  (半減期  $3.01 \times 10^5 \text{ y}$ )、 $^{37}\text{Cl}$  (安定同位体)、 $^{38}\text{Cl}$  (半減期 37.24m)  
C : 誤  $^{41}\text{K}$  (安定同位体)、 $^{42}\text{K}$  (半減期 12.36 h)、 $^{43}\text{K}$  (半減期 22.3 h)  
D : 正  $^{45}\text{Ca}$  (半減期 162.67 d)、 $^{46}\text{Ca}$  (安定同位体)、 $^{47}\text{Ca}$  (半減期 4.536 d)  
E : 正  $^{74}\text{As}$  (半減期 17.77 d)、 $^{75}\text{As}$  (安定同位体)、 $^{76}\text{As}$  (半減期 1.0778 d)

問 15 ウラン系列に属する核種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 地下水では  $^{238}\text{U}$  と  $^{234}\text{U}$  の放射能は等しい。  
B  $^{226}\text{Ra}$  を沈殿分離する際の担体としてはバリウムよりマグネシウムが適する。  
C 水中の  $^{222}\text{Rn}$  はトルエンに抽出できる。  
D  $^{210}\text{Pb}$  は湖底堆積物の堆積速度を求めることに利用される。  
E ウラン系列は必ず  $^{210}\text{Po}$  の  $\alpha$  壊変を経て完結する。

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

[解答] 5

- 注) A : 誤  $^{238}\text{U}$  (半減期  $4.468 \times 10^9 \text{ y}$ ) の娘核種である  $^{234}\text{Th}$  および  $^{234\text{m}}\text{Pa}$  の半減期は、その娘核種である  $^{234}\text{U}$  (半減期  $2.455 \times 10^5 \text{ 年}$ ) よりはるかに短い、地下水流出の時間程度では、両核種間で放射平衡は成立しない。  
B : 誤  $\text{Ra}$  の分離には化学的性質が類似した  $\text{Ba}$  が担体として用いられる。  
C : 正 ラドンは水よりもトルエンに溶けやすい。  
D : 正 堆積物に取り込まれた  $^{210}\text{Pb}$  が半減期 (22.3 y) に従い減衰していくことを利用する年代測定法であり、 $^{210}\text{Pb}$  の放射能が堆積物表層から深部に向かって指数関数的に減衰することを利用して堆積速度を求めることができる  
E : 誤  $^{206}\text{Tl}$  からの  $\beta$  壊変を経る経路もある。

問 16 壊変系列を作る天然放射性核種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 ウラン系列のはじめの核種から 2 回の  $\alpha$  壊変と 2 回の  $\beta$  壊変を経て生成する核種は、トリウムの同位体である。  
B ネプツニウム系列には、 $^{237}\text{Np}$  より半減期の長い子孫核種がある。  
C トリウム系列は、安定核種  $^{204}\text{Pb}$  で終わる。  
D 半減期の最も長い鉛の放射性同位体は、ウラン系列に属する。

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

(令和2年度) 第1種化学

[解答] 2

注) A : 正  $^{238}\text{U}$  ( $\alpha$ 壊変)  $\rightarrow$   $^{234}\text{Th}$  ( $\beta$ 壊変)  $\rightarrow$   $^{234}\text{mPa}$  ( $\beta$ 壊変)  $\rightarrow$   $^{234}\text{U}$  ( $\alpha$ 壊変)  $\rightarrow$   $^{230}\text{Th}$

B : 正  $^{237}\text{Np}$  の半減期は  $2.144 \times 10^6 \text{y}$  であるが、子孫核種の  $^{209}\text{Bi}$  は、半減期が  $1.9 \times 10^{19} \text{y}$  で  $^{237}\text{Np}$  より長い。

C : 誤 トリウム系列は、 $^{208}\text{Pb}$  で終わる。

D : 正 鉛の放射性同位体で半減期が最も長いのはウラン系列の  $^{210}\text{Pb}$  (半減期  $22.2 \text{y}$ ) である。他の壊変系列の  $\text{Pb}$  の放射性同位体の半減期は数時間以下である。

問 17 核医学における放射性核種の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 SPECT では、 $\gamma$ 線をカスケードで放出する核種のみが用いられる。

B PET では、 $\beta^+$ 壊変核種が反対方向に放出する2個の陽電子を検出する。

C 陽電子を放出する  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{18}\text{F}$  は加速器で製造される。

D ラジオイムノアッセイは同位体希釈法の一つである。

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

[解答] 5

注) A : 誤 SPECT では、単一光子を放出する核種のみ用いられる。

B : 誤 PET では、 $\beta^+$ 壊変核種が反対方向に放出する2個の消滅 $\gamma$ 線を検出する。

C : 正 それぞれの核種の加速器での製造過程は次の通りである。

$^{14}\text{N}$  (p,  $\alpha$ )  $^{11}\text{C}$ 、       $^{16}\text{O}$  (p,  $\alpha$ )  $^{13}\text{N}$ 、       $^{15}\text{N}$  (p, n)  $^{15}\text{O}$     又は  
 $^{14}\text{N}$  (d, n)  $^{15}\text{O}$ 、       $^{18}\text{O}$  (p, n)  $^{18}\text{F}$ 、

D : 正 ラジオイムノアッセイは抗原-抗体反応を利用しているが、比放射能の測定結果からその量を定量するため、同位体希釈法と同じ原理である。

問 18 試料中の核種の原子数比が、数億年以上経過した岩石の年代測定に使われるものとして、正しいものは次のうちどれか。

1  $^{14}\text{C}$  の原子数と  $^{12}\text{C}$  の原子数の比

2  $^{18}\text{O}$  の原子数と  $^{16}\text{O}$  の原子数の比

3  $^{40}\text{Ar}$  の原子数と  $^{40}\text{K}$  の原子数の比

4  $^{90}\text{Sr}$  の原子数と  $^{86}\text{Sr}$  の原子数の比

5  $^{235}\text{U}$  の原子数と  $^{206}\text{Pb}$  の原子数の比

[解答] 3

注) 1 : 誤  $^{14}\text{C}$  の半減期は  $5730$  年であり、数億年以上経過した岩石の年代測定には用いることができない。

2 : 誤  $^{18}\text{O}$  及び  $^{16}\text{O}$  とも安定同位体であり、年代測定には利用できない。

3 : 正 カリウム・アルゴン法という。 $^{40}\text{K}$  は崩壊して  $^{40}\text{Ar}$  になるので、原子数比より年代測定が可能であり、かつ半減期も  $12.5$  億年と長いので数億年以上経過した岩石の

(令和2年度) 第1種化学

年代測定に使用できる。

4 : 誤  $^{90}\text{Sr}$  の半減期は 28.79 年であり、数億年以上経過した岩石の年代測定には用いることができない。

5 : 誤 ウラン・鉛法は、 $^{238}\text{U}$  とその子孫核種である  $^{206}\text{Pb}$  の比と、 $^{235}\text{U}$  とその子孫核種である  $^{207}\text{Pb}$  の比を測ることにより、ウラン鉱物の生成年代を求めることである。 $^{235}\text{U}$  と  $^{206}\text{Pb}$  の原子数の比ではない。

問 19 次の放射性同位元素で標識された気体のうち、水上置換法で捕集するのに適している気体として正しいものの組合せはどれか。

A  $^3\text{H}$  水素

B  $^{13}\text{N}$  アンモニア

C  $^{14}\text{C}$  一酸化炭素

D  $^{15}\text{O}$  酸素

E  $^{35}\text{S}$  二酸化硫黄

1 ABE のみ      2 ACD のみ      3 ADE のみ      4 BCD のみ      5 BCE のみ

[解答] 2

注) A : 正 水素は水に対する溶解度が低く、ごくわずかしか解けないので適している。(溶解度  $0.0002\text{g}/100\text{gH}_2\text{O}$ 、 $20^\circ\text{C}$ )

B : 誤 アンモニアは水によく溶けるので適していない。(溶解度  $702\text{g}/100\text{gH}_2\text{O}$ 、 $20^\circ\text{C}$ )

C : 正 一酸化炭素は水に溶けにくいので適している。(溶解度  $0.0026\text{g}/100\text{gH}_2\text{O}$ 、 $20^\circ\text{C}$ )

D : 正 酸素は水に溶けにくいので適している。(溶解度  $0.0009\text{g}/100\text{gH}_2\text{O}$ 、 $20^\circ\text{C}$ )

E : 誤 二酸化硫黄は水によく溶けるので適していない。(溶解度  $9.4\text{g}/100\text{gH}_2\text{O}$ 、 $20^\circ\text{C}$ )

問 20 溶液中にイオンとして存在する放射性核種が溶液に浸した金属板表面に析出するのは、次のうちどれか。

	放射性核種	金属板
1	$^{45}\text{Ca}^{2+}$	Fe
2	$^{64}\text{Cu}^{2+}$	Zn
3	$^{40}\text{K}^+$	Al
4	$^{63}\text{Ni}^{2+}$	Ag
5	$^{113}\text{Sn}^{2+}$	Au

[解答] 2

注) 金属板元素より溶液中の放射性同位元素のイオン化傾向が低い場合に、金属板表面に析出する。

(イオン化傾向 高い > 低い )

1 : 誤  $^{45}\text{Ca} > \text{Fe}$

2 : 正  $^{64}\text{Cu} < \text{Zn}$

3 : 誤  $^{40}\text{K} > \text{Al}$

(令和2年度) 第1種化学

4 : 誤  ${}^6_3\text{Ni} > \text{Ag}$

5 : 誤  ${}^{11}_3\text{Sn} > \text{Au}$

問 21 次の化学操作のうち、放射性気体が発生するものの組合せはどれか。

A  $[{}^3\text{H}]\text{NH}_4\text{Cl}$  に水酸化ナトリウム水溶液を加える。

B  $[{}^{14}\text{C}]\text{Na}_2\text{CO}_3$  に希硫酸を加える。

C  $[{}^{24}\text{Na}]$  金属 Na にエタノールを加える。

D  $[{}^{38}\text{Cl}]\text{NaClO}$  に塩酸を加える。

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

[解答] 2

注) A  $[{}^3\text{H}]\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + [{}^3\text{H}]\text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$

B  $[{}^{14}\text{C}]\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + [{}^{14}\text{C}]\text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$

C  $[{}^{24}\text{Na}]\text{Na} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow [{}^{24}\text{Na}]\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa} + 1/2 \text{H}_2 \uparrow$

D  $[{}^{38}\text{Cl}]\text{NaClO} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + [{}^{38}\text{Cl}]\text{Cl}_2 \uparrow$

問 22 次のうち、水酸化鉄共沈法で鉄とともに共沈するイオンはどれか。

A  ${}^{90}\text{Sr}^{2+}$

B  ${}^{65}\text{Zn}^{2+}$

C  ${}^{137}\text{Cs}^+$

D  ${}^{32}\text{PO}_4^{3-}$

E  ${}^{35}\text{SO}_4^{2-}$

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

[解答] 3

注) A  ${}^{90}\text{Sr}^{2+}$  : 共沈しない。 ${}^{90}\text{Sr}$  と  ${}^{90}\text{Y}$  の分離に利用され、Y が共沈する。

B  ${}^{65}\text{Zn}^{2+}$  : 共沈する

C  ${}^{137}\text{Cs}^+$  : 価数が異なり、リンモリブデン酸アンモニウム共沈法が一般に利用されている。

D  ${}^{32}\text{PO}_4^{3-}$  : 共沈する

E  ${}^{35}\text{SO}_4^{2-}$  : 共沈しない。 $\text{PO}_4^{3-}$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  が共存する溶液で利用され、 $\text{PO}_4^{3-}$  だけが共沈する。

問 23 100 MBq の放射性ヨウ素( ${}^{131}\text{I}_2$ )を含む 100 mL の水溶液がある。50 mL の有機溶媒を用いて抽出する際、1 回の抽出で得られる  ${}^{131}\text{I}_2$  の放射能[MBq]として最も近い値は次のうちどれか。ただし、その水溶液から有機溶媒への抽出の分配比は 20 とする。

1 88    2 91    3 95    4 98    5 99

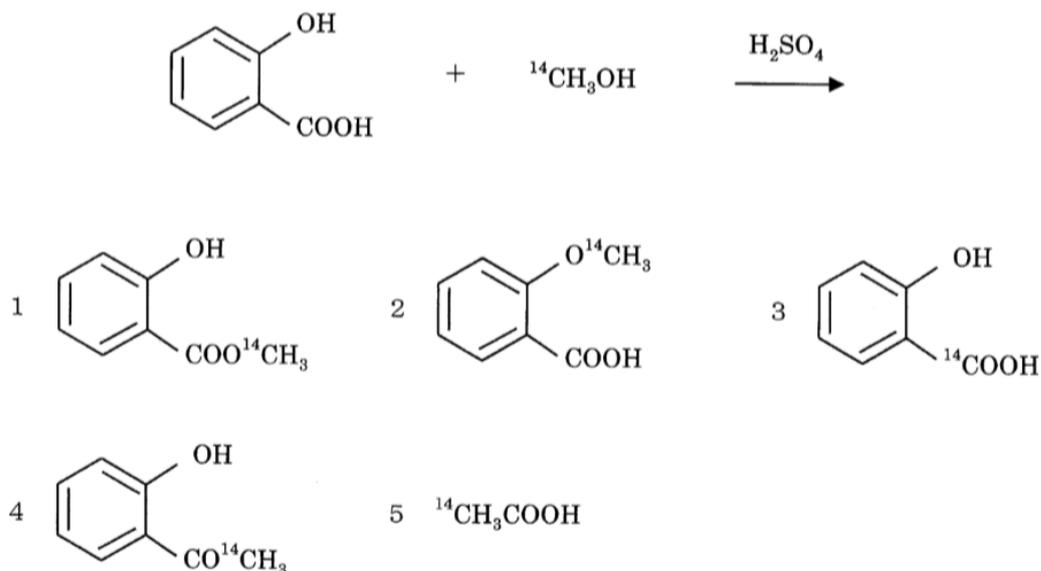
[解答] 2

注) 分配比  $D = (\text{溶媒相に抽出された RI 濃度}) / (\text{水相に残った RI 濃度})$   
抽出された放射能を  $X[\text{MBq}]$  とする。

(令和2年度) 第1種化学

$$(X/50) / ((100-X) / 100) = 20 \quad \text{から} \quad X=90.9$$

問24 サリチル酸に $^{14}\text{C}$ メタノールと濃硫酸を加える反応(下式)により生成する $^{14}\text{C}$ を含む化合物は次のうちどれか。



[解答] 1

注) エステル化反応: 濃硫酸の水素イオンがサリチル酸のカルボキシル基(-COOH)の2重結合のOに付加しメタノールによる求核付加反応を起こす。

問25 液体シンチレーションカウンタによる測定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 バックグラウンドを低くして測定するには、低カリガラスバイアルやポリエチレンバイアルなどが用いられる。
- B  $^3\text{H}$ の比放射能が低い水試料の場合、前処理として電解濃縮法などにより $^3\text{H}$ の同位体濃縮を行うことがある。
- C クエンチングの補正法の1つに $^{137}\text{Cs}$ や $^{133}\text{Ba}$ などの $\gamma$ 線源による外部標準法がある。
- D  $^3\text{H}$ と $^{14}\text{C}$ は波高弁別により同時定量することはできない。

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

[解答] 1

注) A: 正 鉛等の遮蔽体や半同時計数回路の利用なども行われている。

B: 正 バックグラウンドレベルの試料では、有意差を見るために、電解濃縮が必須となる。

C: 正 外部線源法のほか、試料スペクトル法、効率トレーサ法、内部標準法、直接比較法などがある。

D: 誤  $^3\text{H}$ (最大エネルギー18.6keV)と $^{14}\text{C}$ (同157keV)は、最大エネルギーが大きく異なる

(令和2年度) 第1種化学

ので、波高弁別によりβ線スペクトル分布の違いを利用して分別測定ができる。

問26 数種類の非放射性アミノ酸の混合溶液中のメチオニンを同位体希釈法で定量した。放射能が  $1.5 \times 10^4 \text{ Bq}$  の  $^{35}\text{S}$ メチオニン 30 mg を試料溶液に加えて、十分に攪拌して均一にした後、メチオニンの一部を分離して重量と放射能を測定したところ、それぞれ 10 mg、500 Bq であった。求めるメチオニンの重量[mg]に最も近い値は次のうちどれか。

- 1 90          2 150          3 210          4 270          5 330

[解答] 4

注) 直接希釈法：定量する化合物 A (重量  $w_x$ 、比放射能 0) と化学的に同一な標識化合物  $A_1$  の一定量 (重量  $w_1$ 、比放射能  $S_1$ ) を加え混合する。この混合溶液から (A +  $A_1$ ) の一部を分離し、放射能と重量を測定し、比放射能  $S_2$  を求める。試料に添加した標識化合物の全放射能 ( $S_1 w_1$ ) と混合物の全放射能 ( $S_2 (w_x + w_1)$ ) は等しいので、 $S_1 w_1 = S_2 (w_x + w_1)$  から、 $w_x$  を求める。  
 $w_1 = 30$ 、 $S_1 = 1.5 \times 10^4 / 30$ 、 $S_2 = 500 / 10$  なので、 $w_x = 270$

問27 次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 リチウム化合物への中性子照射で生成するα粒子で放射線治療が行われている。
- 2 Co(II)化合物中の  $^{57}\text{Co}$  は EC 壊変で  $^{57}\text{Fe}$  となるが、その酸化数は+2 のままである。
- 3 コバルト化合物への熱中性子照射では、生成した  $^{60}\text{Co}$  の結晶格子中の位置は変わらない。
- 4  $^{131\text{m}}\text{Xe}$  の中性原子から生成した  $^{131}\text{Xe}$  には様々な電荷の陰イオンがみられる。
- 5 ウランを含む鉱物の生成年代を推定するのに、ウランの自発核分裂によるフィッシュントラックを用いることができる。

[解答] 5

- 注) 1：誤 ホウ素化合物への中性子照射で生成するα粒子と Li で放射線治療が行われている。  
 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$  反応
- 2：誤 EC 壊変では、陽子が軌道上の電子を捕獲して中性子になるので、酸化数が増加する。
- 3：誤 (n, γ) 反応により反跳をうける。
- 4：誤  $^{131\text{m}}\text{Xe}$  と  $^{131}\text{Xe}$  はエネルギー状態が異なるだけである。
- 5：正 フィッシュントラック法として、鉱物の年代測定に利用されている。自発核分裂の飛跡(トラック)を顕微鏡下で観察し、飛跡密度を求める。

問28 次の放射性同位元素、その利用方法または計測装置、および利用される放射線の関係のうち、正しいものの組合せはどれか。

	放射性同位元素	利用方法・計測装置	放射線
A	$^{57}\text{Co}$	メスバウアー分光装置	β線
B	$^{63}\text{Ni}$	ECD ガスクロマトグラフ	β線
C	$^{90}\text{Sr}$	タマネギの発芽防止	α線
D	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	SPECT	γ線



(令和2年度) 第1種化学

地球上に存在する天然放射性核種は一次放射性核種、二次放射性核種および誘導放射性核種に分類される。一次放射性核種と呼ばれるものは、約45億年前の地球誕生時から存在している。一次放射性核種の中には、半減期の長い核種から始まる壊変系列核種があり、主として地殻やマントルなどの地球内部に存在している。壊変系列の1つに、地球誕生時からその数がほぼ1/2に減少している [ア] から始まる壊変系列がある。この壊変系列に属する核種の1つに、二次放射性核種として貴ガス元素(希ガス元素)の同位体である [イ] がある。半減期が [A] の [イ] は、親核種である [ウ] の  $\alpha$  壊変によって生成する。地表近くで生成すると、化学結合を作らないため大気中に拡散し、気流とともに移動する。一方、地球誕生時から現在までに半減期の約1/3が経過した [エ] から始まる壊変系列には [イ] の同位体である [オ] が存在するが、半減期が [B] と短いために大気中での移動や拡散は限定されている。 [イ] はコンクリートなどの建材などからも発生するため、エアフィルターには [イ] の子孫核種が吸着されてしばしば検出される。壊変系列を作らない一次放射性核種には、貴ガスの放射性核種を生成するものは無いが、半減期12.5億年の $^{40}\text{K}$ の [カ] によって貴ガス元素の安定核種である $^{40}\text{Ar}$ が生成する。

誘導放射性核種は一次および二次放射性核種からの放射線、あるいは宇宙線による核反応によって生成する核種である。なかでも宇宙線による核反応が大気中の放射性核種の起源として重要である。最大 $10^{20}$  eVにも達する宇宙線の主成分は陽子や $\alpha$ 粒子であり、上層大気中の窒素や酸素、アルゴンと核破砕反応を起こして種々の核種を生成する。中でも半減期 [C] の $^3\text{H}$ の年間生成量は $70\text{PBq}=7.0\times 10^{16}\text{Bq}$ と推定されており、質量に換算すると約 [D] となる。 $^3\text{H}$ は水や単体水素、メタンとなって地球環境中に移行していく。大気中の $^3\text{H}$ は、化学形を水に揃えて [キ] やモレキュラーシープに吸着したのち、 [ク] で測定する。人為起源の $^3\text{H}$ については、核実験由来の $^3\text{H}$ がかつて大量に地球上に拡散したが、その量は少なくなった。また原子力施設からは半減期10.7年の貴ガス元素同位体である [ケ] も放出されている。

宇宙線による核反応に伴って、中性子も生成する。中性子は [コ] 反応によって $^{14}\text{C}$ を生成する。 $^{14}\text{C}$ は大気中で二酸化炭素となり、植物の光合成によって生態系へと移行し、生物関連物質の年代測定に広く利用されている。

<ア～オの解答群>

- |                      |                      |                      |                      |                      |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 $^{237}\text{Np}$  | 2 $^{238}\text{U}$   | 3 $^{235}\text{U}$   | 4 $^{234}\text{U}$   | 5 $^{232}\text{Th}$  |
| 6 $^{226}\text{Ra}$  | 7 $^{224}\text{Ra}$  | 8 $^{222}\text{Rn}$  | 9 $^{220}\text{Rn}$  | 10 $^{219}\text{Rn}$ |
| 11 $^{218}\text{Po}$ | 12 $^{214}\text{Pb}$ | 13 $^{212}\text{Pb}$ | 14 $^{210}\text{Po}$ | 15 $^{208}\text{Tl}$ |

<A～Cの解答群>

- |            |           |          |           |         |
|------------|-----------|----------|-----------|---------|
| 1 56 秒     | 2 3.0 分   | 3 20 分   | 4 61 分    | 5 11 時間 |
| 6 3.8 日    | 7 24 日    | 8 138 日  | 9 12 年    | 10 22 年 |
| 11 1,600 年 | 12 7.2 億年 | 13 44 億年 | 14 140 億年 |         |

<カの解答群>

- |          |                |                |        |
|----------|----------------|----------------|--------|
| 1 核異性体転移 | 2 $\beta^+$ 壊変 | 3 $\beta^-$ 壊変 | 4 EC壊変 |
| 5 自発核分裂  | 6 クラスタ壊変       |                |        |

(令和2年度) 第1種化学

<Dの解答群>

- 1 200 ng      2 5.0 mg      3 20 mg      4 500 mg      5 2.0 g  
6 50 g      7 200 g      8 5.0 kg      9 200 kg

<キの解答群>

- 1 活性炭      2 アミン付加活性炭      3 アルミナ  
4 シリカゲル      5 強酸性陽イオン交換樹脂      6 弱酸性陽イオン交換樹脂  
7 強塩基性陰イオン交換樹脂      8 弱塩基性陰イオン交換樹脂

<クの解答群>

- 1 Si(Li)半導体検出器      2 プラスチックシンチレーション検出器  
3 液体シンチレーション計数装置      4 NaI(Tl)シンチレーション検出器  
5 Ge半導体検出器      6 GM管式計数装置

<ケの解答群>

- 1  $^3\text{He}$       2  $^{20}\text{Ne}$       3  $^{21}\text{Ne}$       4  $^{22}\text{Ne}$       5  $^{38}\text{Ar}$   
6  $^{40}\text{Ar}$       7  $^{41}\text{Ar}$       8  $^{85}\text{Kr}$       9  $^{124}\text{Xe}$

<コの解答群>

- 1  $^{14}\text{N}(\text{n}, \text{p})^{14}\text{C}$       2  $^{15}\text{C}(\text{n}, 2\text{n})^{14}\text{C}$       3  $^{15}\text{O}(\text{n}, \text{pn})^{14}\text{C}$       4  $^{16}\text{N}(\text{n}, 2\text{pn})^{14}\text{C}$   
5  $^{17}\text{O}(\text{n}, 2\text{pn})^{14}\text{C}$

[解答]

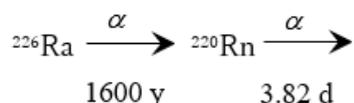
ア-2 イ-8 ウ-6 エ-5 オ-9

A-6 B-1 C-9 カ-4 D-7 キ-4 ク-3 ケ-8 コ-1

注) ア： $^{238}\text{U}$  壊変系列核種の出発元素である4核種 ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ) のうち、45億年前の地球誕生時から放射能が半減しているものは、 $T \approx 44.7$  億年の  $^{238}\text{U}$  となる。

イ： $^{222}\text{Rn}$  壊変系列核種に含まれる貴ガス(第18族)元素は、周期表から Rn であり、ウラン系列 ( $4n+2$ ) に属するものは、 $^{222}\text{Rn}$  となる。

ウ： $^{226}\text{Ra}$



エ： $^{232}\text{Th}$  半減期の約3分の1が経過したときの時間が45億年なので半減期は約135億年であり、4核種のうち最も近いのは、半減期141億年の  $^{232}\text{Th}$  となる。

オ： $^{220}\text{Rn}$  トリウム系列 ( $4n$ ) に属する Rn の同位体は、 $^{220}\text{Rn}$  となる。

A：3.8日

B：56秒

C：12年

D：200g 放射能  $A$  (Bq)、質量  $m$  (g)、半減期  $T$  (s)、壊変定数  $\lambda$  ( $\text{s}^{-1}$ )、原子量  $M$ 、原子個数を  $N$  としたとき、

$$\lambda = \frac{0.693}{T}, \quad N = 6.02 \times 10^{23} \times \frac{m}{M} \text{ であることを考慮して、}$$

$$A = \lambda N \text{ を求めることで、} m \approx 190 \text{ g}$$

(令和2年度) 第1種化学

カ：EC 壊変  $^{40}\text{K}$  は、放出割合 89.1%で  $\beta^-$  壊変して  $^{40}\text{Ca}$  が生成され、10.8%の割合で電子捕獲が生じ、 $^{40}\text{Ar}$  が生成される。

キ：シリカゲル 水の吸着剤としてよく用いられるものとして、モレキュラーシーブ（ゼオライト）、活性アルミナ、シリカゲルがある。

ク：液体シンチレーション計数装置 低エネルギーの  $\beta$  線放射体である  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{35}\text{S}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{33}\text{P}$  等は、液体シンチレーション計数装置で測定される。

ケ： $^{85}\text{Kr}$  ウラン 235 が核分裂を起こした結果、質量数が 90 程度と 140 程度の原子核が多く生成される（問9 図参照）。これは、陽子数（原子番号）または中性子数が 2、8、20、28、50、82、126 のところで安定度が高いことに起因すると考えられている。核分裂生成物のうち、貴ガス元素は Kr 及び Xe である。上記魔法数を考慮したとき、Kr は質量数 86 程度、Xe は 136 程度で核分裂収率が向上する。

コ： $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$  大気中の約 78%を占める窒素と中性子との反応により生成される  $^{14}\text{C}$  は、宇宙放射線によって生成される放射性核種のうち、最も生成率が高い。

問 32 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 環境試料の□Aは、試料中に存在する放射性核種からの放射線を測定することにより濃度を求めることを目的とする。主に人為起源の対象核種としては、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、□Bなどがある。これらの核種はいずれも中性子過剰核であり、放射壊変によりそれぞれY、□C、Xeの同位体となる。壊変に伴い放出される  $\beta$  線や  $\gamma$  線を検出することで放射能を測定することができる。 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、□Bの化学的挙動はそれぞれCa、K、Brと類似している。例えば、 $^{90}\text{Sr}$ がCaの□D沈殿に取り込まれるのはCaとSrの化学的性質が近いとため、このような化学的性質の類似性は元素の周期表上の位置からある程度推定することができる。例えば、□Eはヨウ素に似た性質を有するとされている。

<A～Eの解答群>

- |                     |          |         |                   |                    |
|---------------------|----------|---------|-------------------|--------------------|
| 1 放射分析              | 2 放射化学分析 | 3 放射化分析 | 4 $^{14}\text{C}$ | 5 $^{131}\text{I}$ |
| 6 $^{210}\text{Pb}$ | 7 Xe     | 8 Ba    | 9 Ce              | 10 Po              |
| 11 At               | 12 Rn    | 13 炭酸塩  | 14 硝酸塩            | 15 酢酸塩             |

II 環境試料中の $^{90}\text{Sr}$ の定量プロセスは前処理—化学分離—計測のステップで構成される。試料の前処理で注意すべき点の1つに適切な溶液化の方法の選択がある。□Fは金属イオンと沈殿を生成しにくい酸で溶液化によく用いられる。しかし、有機物がしばしば多量に含まれる□Gを対象とした場合には、過塩素酸や□Hのような酸化性の酸を用いることがある。放射性核種の化学的性質だけではなく、試料に含まれる様々な元素の化学的性質などから適切な溶液化の方法を選択する必要がある。

$^{90}\text{Sr}$ は□Iのみ放出するため、溶液化後の $^{90}\text{Sr}$ の単離精製のための化学分離が必要となる。これに加えて、 $^{90}\text{Sr}$ の定量のための化学分離では特徴的な点がある。親核 $^{90}\text{Sr}$ と娘核 $^{90}\text{Y}$ の半減期の関係

(令和2年度) 第1種化学

で **J** が成立する。ここで **K** 法を適用することで、娘核種はミルキング可能である。 $^{90}\text{Y}$  の  $\beta$  線最大エネルギーが著しく高いために、他の  $\beta$  線放出核種が残留していても、 $^{90}\text{Y}$  の放射能から  $^{90}\text{Sr}$  の放射能を正確に求めることができる。

<F、Gの解答群>

- |          |       |       |          |
|----------|-------|-------|----------|
| 1 フッ化水素酸 | 2 希硝酸 | 3 希硫酸 | 4 シュウ酸   |
| 5 土壌     | 6 火山灰 | 7 石灰岩 | 8 コンクリート |

<H~Kの解答群>

- |              |             |              |        |         |
|--------------|-------------|--------------|--------|---------|
| 1 塩酸         | 2 硝酸        | 3 フッ化水素酸     | 4 リン酸  | 5 中性子線  |
| 6 $\alpha$ 線 | 7 $\beta$ 線 | 8 $\gamma$ 線 | 9 過渡平衡 | 10 永続平衡 |
| 11 放射非平衡     | 12 共沈       | 13 昇華        | 14 蒸留  |         |

III 環境試料中の $^{137}\text{Cs}$ の定量には $\gamma$ 線スペクトロメトリーが一般に用いられている。低濃度の水試料では、化学分離による濃縮プロセスを経て計測の段階に進む場合がある。リンモリブデン酸アンモニウムを沈殿剤として用いて放射性セシウムを共沈させる方法がしばしば用いられる。 $\text{Cs}^+$ イオンは、 $\text{Fr}^+$ イオンを除くと、**L**が最も大きい金属イオンである。水中では $^{137}\text{Cs}$ は**M**として存在している。かさ高い陽イオンを沈殿させるためには対となる陰イオンもかさ高い必要があるため、モリブデンのオキシ酸イオンが用いられた。 $^{137}\text{Cs}$ を濃縮した沈殿を $\gamma$ 線スペクトロメトリーで測定する。さらに沈殿を酸処理して $^{137}\text{Cs}$ を溶かした上で**N**法などでさらに分離精製して計測することもできる。

環境の放射性セシウム同位体の測定では $^{134}\text{Cs}$ および $^{135}\text{Cs}$ の定量も重要である。半減期2.06年の $^{134}\text{Cs}$ では $^{137}\text{Cs}$ と同様に $\gamma$ 線検出により放射能を測定するのが一般的である。しかし、 $^{135}\text{Cs}$ では半減期が $2.3 \times 10^6$ 年に及び、1 Bq当たりの原子数は**O**となるため、質量分析による粒子計測が放射線計測よりも有利となる。

(L~Nの解答群)

- |           |             |          |
|-----------|-------------|----------|
| 1 荷電数     | 2 酸化数       | 3 イオン半径  |
| 4 最外殻電子数  | 5 中性原子      | 6 クラスタ   |
| 7 水和イオン   | 8 オキシ酸イオン   | 9 陽イオン交換 |
| 10 陰イオン交換 | 11 イオン会合体抽出 | 12 再結晶   |

<Oの解答群>

- |                        |                        |                        |                        |                        |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 $1.0 \times 10^{12}$ | 2 $8.0 \times 10^{12}$ | 3 $1.0 \times 10^{13}$ | 4 $8.0 \times 10^{13}$ | 5 $1.0 \times 10^{14}$ |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|

[解答]

I A-2 B-5 C-8 D-13 E-11

注) A : 放射化学分析 放射化学分析とは、試料中に存在する放射性核種からの放射線を測定することにより、試料に含まれる核種を同定し、その量や濃度を調べる方法である。

B :  $^{131}\text{I}$   $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  は  $^{235}\text{U}$  の核分裂生成物である。

C : Ba  $^{137}\text{Cs}$  はまず  $\beta$  壊変して  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  となり、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$  は  $\gamma$  線を放出し核異性体転移によつ

(令和2年度) 第1種化学

て  $^{137}\text{Ba}$  (安定) となる。

D : 炭酸塩 Ca と Sr は同族元素 (アルカリ土類金属) である。同族元素は原子の価電子の数が同じであるため、化学的性質が類似することが多い。

E : At At (アスタチン) はヨウ素 I の同族元素 (ハロゲン)。そのためヨウ素と同様に昇華性がある。

II F-2 G-5 H-2 I-7 J-10 K-12

注) I :  $\beta$  線  $^{90}\text{Sr}$  は  $\beta$  線を放出するが、そのエネルギーは弱く、また  $\beta$  線は連続スペクトルであることから、放射性核種の特定はできない。そこで溶液化後、ストロンチウムを化学的に分離する必要がある。

J : 永続平衡 ストロンチウムを分離後 2 週間程度置くと、 $^{90}\text{Sr}$  とその娘核種であるイットリウム 90 ( $^{90}\text{Y}$ ) の量がほぼ同量となる。このような状態を放射平衡 (永続平衡) にあるという。永続平衡は  $^{90}\text{Sr}$  (半減期約 29 年) と  $^{90}\text{Y}$  (半減期約 64 時間) のように親核種の半減期が娘核種と比べて十分に長い場合に成立する。

K : 共沈 永続平衡が成立している場合、長半減期の親核種から短半減期の娘核種を繰り返し分離・抽出することができ、これをミルクキングという。

III L-3 M-7 N-9 O-5

注)  $^{137}\text{Cs}$  および  $^{134}\text{Cs}$  は特定のエネルギーの  $\gamma$  線を放出するため、ゲルマニウム半導体検出器などの  $\gamma$  線スペクトロメトリーを用いて定量が可能である。一方、 $^{135}\text{Cs}$  は  $\beta$  線のみ放出するため、 $\gamma$  線スペクトロメトリーを用いることはできない。

L : イオン半径 同族の同じ価数のイオンでは、周期表で下のものほどイオン半径は大きい。また同じ電子配置を取るイオンの場合、原子番号が小さい方がイオン半径は大きくなる。

N : 陽イオン交換  $^{137}\text{Cs}$  は水溶液中で陽イオン ( $\text{Cs}^+$ ) であるため、陽イオン交換法で分離精製することができる。

O :  $1.0 \times 10^{14}$  放射能 A は、原子数 N と壊変定数  $\lambda$  から

$$A = \lambda N \text{ である。}$$

半減期を T 秒とすると

$$\lambda = 0.693/T$$

$$N = A \cdot T/0.693$$

$$= 1 \times 2.3 \times 10^6 (\text{y}) \times 365 (\text{d}) \times 24 (\text{h}) \times 60 (\text{m}) \times 60 (\text{s}) / 0.693$$

$$= 1.0466 \cdots \times 10^{14}$$