

第61回

第2種放射線取扱主任者試験 問題と解答例

第61回 令和元年8月23日実施

第 61 回

第 2 種放射線取扱主任者試験問題と解答例

目 次

法 令	
第 61 回（令和元年）	1
実 務	
第 61 回（令和元年）	15
物 理 学	
第 61 回（令和元年）	29
化 学	
第 61 回（令和元年）	38
生 物 学	
第 61 回（令和元年）	45

解答例は（公社）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。

法 令

第 61 回 (令和元年)

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律 (以下「放射線障害防止法」という。) 及び関係法令について解答せよ。ただし、問題文の『 』内の文章は、放射線障害防止法又は関係法令の条文を示し、項数は算用数字、号数は () つきの算用数字で表す。条文は問に応じて、漢字をひらがな、上下を左右などにおきかえ、また、一部を省略して示す。

次の各問について、5つの選択肢のうち、適切な答えを 1つだけ 選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

問 1 定義に関する次の文章の [A] ~ [C] に該当する語句について、放射線障害防止法上定められているものの組合せは、下記の選択肢のうちどれか。

『第 2 条 この法律において「放射線」とは、原子力基本法第 3 条第 5 号に規定する放射線をいう。

2 この法律において「放射性同位元素」とは、りん 32, コバルト 60 等放射線を放出する同位元素及びその化合物並びにこれらの含有物 ([A] されているこれらのもの [B])。で政令で定めるものをいう。

3 この法律において「 [C] 」とは、硫黄計その他の放射性同位元素を装備している機器をいう。』

- | | [A] | [B] | [C] |
|----------|-------|-------|-------------|
| 1) 密封 | | を含む | 設計認証機器 |
| 2) 機器に装備 | | を含む | 放射性同位元素装備機器 |
| 3) 密封 | | を含む | 放射性同位元素装備機器 |
| 4) 機器に装備 | | に限る | 設計認証機器 |
| 5) 密封 | | に限る | 放射性同位元素装備機器 |

〔解答〕

2

注) 法第 2 条 (定義)

問 2 使用の許可に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上正しいものの組合せはどれか。なお、セシウム 137 の下限数量は 10 キロベクレル、コバルト 60 の下限数量は 100 キロベクレルであり、かつ、それぞれの濃度は、原子力規制委員会の定める濃度を超えるものとする。

A 1 個当たりの数量が、100 メガベクレルの密封されたコバルト 60 を 3 個で 1 組として装備し、その 1 組をもって照射する機構を有するレベル計 1 台のみを使用しようとする者は、原子力規制委員会の許可を受けなければならない。

B 1 個当たりの数量が、100 メガベクレルの密封されたセシウム 137 を装備した照射装置を 1 台のみ使用しようとする者は、原子力規制委員会の許可を受けなければならない。

C 1 個当たりの数量が、10 メガベクレルの密封されたセシウム 137 を装備したレベル計を 1 台及び 1

個当たりの数量が、100メガベクレルの密封されたコバルト60を装備した密度計を1台使用しようとする者は、原子力規制委員会の許可を受けなければならない。

- D 1個当たりの数量が、10メガベクレルの密封されたセシウム137を装備したレベル計を1台及び1個当たりの数量が、10メガベクレルの密封されたコバルト60を装備した密度計を10台使用しようとする者は、原子力規制委員会の許可を受けなければならない。

- 1) ABCのみ 2) ABのみ 3) ADのみ 4) CDのみ 5) BCDのみ

〔解答〕

2

注) 法第3条(使用の許可)第1項, 法第3条の2(使用の届出)第1項, 令第3条第1項, 「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(平成12年10月23日科学技術庁告示5号)」第1条(放射線を放出する同位元素の数量及び濃度)

- A: 正 法第3条第1項, 令第3条第1項, 「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」第1条第1項第1号

100メガベクレルの密封されたコバルト60を3個で1組を装備したレベル計(300メガベクレルとなる。)を使用する場合は, コバルト60の下限数量100キロベクレルの1,000倍を超えることから許可使用者となる。

- B: 正 法第3条第1項, 令第3条第1項, 「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」第1条第1項第1号

100メガベクレルの密封されたセシウム137を装備した照射装置を使用する場合は, セシウム137の下限数量10キロベクレルの1,000倍を超えることから許可使用者となる。

- C: 誤 法第3条の2第1項, 令第3条第1項, 「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」第1条第1項第1号

10メガベクレルの密封されたセシウム137を装備したレベル計と100メガベクレルの密封されたコバルト60を装備した密度計を使用する場合は, それぞれが下限数量の1,000倍を超えないことから届出使用者となる。

- D: 誤 法第3条の2第1項, 令第3条第1項, 「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」第1条第1項第1号

10メガベクレルの密封されたセシウム137を装備したレベル計と10メガベクレルの密封されたコバルト60を装備した密度計10台を使用する場合は, それぞれが下限数量の1,000倍を超えないことから届出使用者となる。

問3 次のうち, 表示付認証機器使用者が, 当該表示付認証機器の使用の開始の日から30日以内に, 原子力規制委員会に届け出なければならない事項として, 放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 氏名又は名称及び住所並びに法人にあっては, その代表者の氏名
B 使用の目的及び方法
C 使用の場所
D 表示付認証機器の使用をする施設の位置, 構造及び設備

- 1) AとB 2) AとC 3) BとC 4) BとD 5) CとD

〔解答〕

1

注) 法第3条の3(表示付認証機器の使用をする者の届出)第1項

- A：正 法第3条の3第1項第1号
- B：正 法第3条の3第1項第3号
- C：誤 そのような規定はない。
- D：誤 そのような規定はない。

問4 次のうち、届出賃貸業者が、あらかじめ、原子力規制委員会に届け出なければならない変更事項として、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 放射性同位元素の種類
- B 貯蔵施設の位置、構造、設備及び貯蔵能力
- C 氏名又は名称及び住所並びに法人にあっては、その代表者の氏名
- D 賃貸事業所の所在地

- 1) ABCのみ 2) ABのみ 3) ADのみ 4) CDのみ 5) BCDのみ

〔解答〕

3

注) 法第4条(販売及び賃貸の業の届出)第1項,第2項,第3項

- A：正 法第4条第1項第2号,第2項
- B：誤 そのような規定はない。
- C：誤 法第4条第3項
変更の日から30日以内に届け出なければならない。
- D：正 法第4条第1項第3号,第2項

問5 次の標識のうち、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。ただし、この場合、放射能標識は工業標準化法の日本工業規格によるものとし、その大きさは放射線障害防止法上で定めるものとする。



- 1) ABCのみ 2) ABのみ 3) ADのみ 4) CDのみ 5) BCDのみ

〔解答〕

5

注) 則別表第1

問6 使用施設の技術上の基準に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上正しいものの組合せはどれか。ただし、密封された放射性同位元素を固定して取り扱う場合とする。

- A 使用施設は、必ず、その主要構造部等を耐火構造としなければならない。
- B 使用施設内の人が常時立ち入る場所において人が被ばくするおそれのある線量は、実効線量で1週

間につき1ミリシーベルト以下としなければならない。

C 使用施設は、地崩れ及び浸水のおそれの少ない場所に設けなければならない。

D 管理区域の境界には、柵その他の人がみだりに立ち入らないようにするための施設を設けなければならない。

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

〔解答〕

4

注) 則第14条の7(使用施設の基準)第1項、第4項、「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(平成12年10月23日科学技術庁告示第5号)」第10条(遮蔽物に係る線量限度)第1項

A: 誤 則第14条の7第1項第2号

耐火構造とし、又は不燃材料で造ること。

B: 正 則第14条の7第1項第3号、「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」第10条第1項

C: 正 則第14条の7第1項第1号

D: 正 則第14条の7第1項第8号

問7 次のうち、密封された放射性同位元素のみを使用する許可使用者の許可証に記載する事項として、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

A 使用の方法

B 使用の目的

C 許可の条件

D 貯蔵施設の貯蔵能力

1) ABCのみ 2) ABのみ 3) ADのみ 4) CDのみ 5) BCDのみ

〔解答〕

5

注) 法第9条(許可証)第2項

A: 誤 そのような規定はない。

B: 正 法第9条第2項第3号

C: 正 法第9条第2項第7号

D: 正 法第9条第2項第6号

問8 1個当たりの数量が185ギガベクレルの密封されたイリジウム192を装備した非破壊検査装置のみ1台を使用している者が、非破壊検査の目的のため、事業所の外において一時的に使用の場所を変更して当該装置を使用する場合に、あらかじめ、原子力規制委員会に対してとるべき手続きに関する次の記述のうち、放射線障害防止法上正しいものはどれか。なお、イリジウム192の特別形放射性同位元素等である場合の数量(A₁値)は、1テラベクレルである。また、その下限数量は、10キロベクレルであり、かつ、その濃度は、原子力規制委員会の定める濃度を超えるものとする。

1) 新たに使用の場所の認可を受けなければならない。

2) 許可使用に係る軽微な変更の届出をしなければならない。

3) 許可使用に係る使用の場所の一時的変更の届出をしなければならない。

4) 届出使用に係る変更の届出をしなければならない。

5) 届出使用に係る使用の場所の一時的変更の報告をしなければならない。

〔解答〕

3

注) 法第10条(使用施設等の変更)第2項,第6項,令第3条(使用許可の申請)第1項,則第9条の2(変更の許可を要しない軽微な変更)第1項

1: 誤 そのような規定はない。

2: 誤 法第10条第2項,則第9条の2第1項
軽微な変更には該当しない。

3: 正 法第10条第6項

4: 誤 令第3条第1項

密封されたイリジウム 192 185 GBq は使用の許可対象。

5: 誤 令第3条第1項

密封されたイリジウム 192 185 GBq は使用の許可対象。

問9 次のうち,変更の許可を要しない軽微な変更該当する事項として,放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

A 放射性同位元素の数量の減少

B 放射性同位元素の使用時間数の減少

C 事業所の境界の拡大

D 貯蔵施設の貯蔵能力の減少

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

〔解答〕

1

注) 則第9条の2(変更の許可を要しない軽微な変更)第1項,「変更の許可を要しない軽微な変更を定める告示(平成17年6月1日文科科学省告示第81条)」

A: 正 則第9条の2第1項第2号

B: 正 則第9条の2第1項第5号,「変更の許可を要しない軽微な変更を定める告示」

C: 誤 そのような規定はない。

D: 正 則第9条の2第1項第1号

問10 次の放射性同位元素の使用の目的のうち,その旨を原子力規制委員会に届け出ることにより,許可使用者が一時的に使用の場所を変更して使用できる場合として,放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

A ガスクロマトグラフによる空気中の有害物質等の質量の調査

B 中性子水分計による土壌中の水分の質量の調査

C 蛍光エックス線分析装置による物質の組成の調査

D ガンマ線密度計による物質の密度の調査

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

〔解答〕

5

注) 法第10条(使用施設等の変更)第6項,「使用の場所の一時的変更の届出に係る使用の目的を指定する告示(平成3年11月15日科学技術庁告示第9号)」

問 11 許可証に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上正しいものの組合せはどれか。

- A 許可証を損じた者が許可証再交付申請書を原子力規制委員会に提出する場合には、その許可証を申請書に添えなければならない。
 B 許可証を失った者で許可証の再交付を受けたものは、失った許可証を発見したときは、速やかに、発見した許可証を原子力規制委員会に返納しなければならない。
 C 許可証を損じたときは、30日以内に、その旨を原子力規制委員会に届け出なければならない。
 D 許可証を失った者は、その事実が判明した日から30日以内に、その旨を原子力規制委員会に届け出なければならない。
- 1) AとB 2) AとC 3) BとC 4) BとD 5) CとD

〔解答〕

1

注) 則第14条(許可証の再交付)第2項, 第3項

- A: 正 則第14条第2項
 B: 正 則第14条第3項
 C: 誤 そのような規定はない。
 D: 誤 そのような規定はない。

問 12 放射性同位元素装備機器の設計認証等に関する次の記述のうち、特定設計認証を受けようとする者が、原子力規制委員会又は登録認証機関に提出しなければならない申請書に記載する事項として、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 氏名又は名称及び住所並びに法人にあっては、その代表者の氏名
 B 放射性同位元素の年間使用時間
 C 放射性同位元素装備機器の名称及び用途
 D 放射性同位元素装備機器に装備する放射性同位元素の種類及び数量
- 1) ABCのみ 2) ABDのみ 3) ACDのみ 4) BCDのみ 5) ABCDすべて

〔解答〕

3

注) 法第12条の2(放射性同位元素装備機器の設計認証等)第3項

- A: 正 法第12条の2第3項第1号
 B: 誤 そのような規定はない。
 C: 正 法第12条の2第3項第2号
 D: 正 法第12条の2第3項第3号

問 13 表示付認証機器又は表示付特定認証機器の販売等に関する次の文章の A ~ D に該当する語句について、放射線障害防止法上定められているものの組合せは、下記の選択肢のうちどれか。

『第12条の6 表示付認証機器又は表示付特定認証機器を販売し、又は賃貸しようとする者は、原子力規制委員会規則で定めるところにより、当該表示付認証機器又は表示付特定認証機器に、 A (当該設計認証又は特定設計認証の番号をいう)、当該設計認証又は特定設計認証に係る B, 保管及び C に関する条件(以下「認証条件」という)、これを D しようとする場合にあっては第19条第5項に規定する者にその D を委託しなければならない旨その他原子力規制委員会規則で定める事項を記載した文書を添付しなければならない。』

	A	B	C	D
1) 線源番号	使用	使用	廃棄	運搬
2) 線源番号	販売又は賃貸	販売又は賃貸	運搬	廃棄
3) 認証番号	販売又は賃貸	販売又は賃貸	廃棄	運搬
4) 認証番号	使用	使用	廃棄	運搬
5) 認証番号	使用	使用	運搬	廃棄

〔解答〕

5

注) 法第 12 条の 6 (認証機器の表示等)

問 14 使用施設等の基準適合義務に関する次の文章の , に該当する語句について、放射線障害防止法上定められているものの組合せは、下記の選択肢のうちどれか。

『第 13 条

2 届出使用者は、その の を原子力規制委員会規則で定める技術上の基準に適合するように維持しなければならない。』

	A	B
1) 使用施設	使用施設	遮蔽壁その他の遮蔽物
2) 使用施設	使用施設	位置、構造及び設備
3) 貯蔵施設	貯蔵施設	貯蔵能力
4) 貯蔵施設	貯蔵施設	位置、構造及び設備
5) 使用施設及び貯蔵施設	使用施設及び貯蔵施設	遮蔽壁その他の遮蔽物

〔解答〕

4

注) 法第 13 条 (使用施設等の基準適合義務) 第 2 項

問 15 密封された放射性同位元素の使用の基準に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 密封された放射性同位元素が漏えい、浸透等により散逸して汚染するおそれのないこと。
- B 正常な使用状態においては、開封又は破壊されるおそれのないこと。
- C 密封された放射性同位元素が、放射性同位元素装備機器に固定されている容器に収納され、又は支持具により放射性同位元素装備機器に固定されていること。
- D 密封された放射性同位元素を収納する容器は、取扱いの際の温度、圧力及び衝撃に耐え、かつ、容易に破損しないこと。

- 1) ABC のみ 2) AB のみ 3) AD のみ 4) CD のみ 5) BCD のみ

〔解答〕

2

注) 則第 14 条の 3 (認証の基準) 第 1 項、則第 15 条 (使用の基準) 第 1 項

A : 正 則第 15 条第 1 項第 2 号ロ

B : 正 則第 15 条第 1 項第 2 号イ

C : 誤 放射性同位元素装備機器の設計に求められる認証の基準である (則第 14 条の 3 第 1 項第 1 号ホ)。

D : 誤 放射性同位元素装備機器の設計に求められる認証の基準である (則第 14 条の 3 第 1 項第 1 号

へ)。

問16 密封された放射性同位元素の保管の基準に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 密封された放射性同位元素を気密性の構造の容器に入れて保管する場合にあつては貯蔵施設において行うこと。
- B 貯蔵施設の目につきやすい場所に、放射線障害の防止に必要な注意事項を掲示すること。
- C 貯蔵施設には、その遮蔽能力を超えて放射性同位元素を貯蔵しないこと。
- D 管理区域には、人がみだりに立ち入らないような措置を講じ、放射線業務従事者以外の者が立ち入るときは、放射線業務従事者の指示に従わせること。

- 1) AとB 2) AとC 3) BとC 4) BとD 5) CとD

〔解答〕

4

注) 則第14条の9(貯蔵施設の基準)第1項, 則第17条(保管の基準)第1項

- A: 誤 則第17条第1項第1号, 則第14条の9第1項第4号イ
気密性ではなく「耐火性」である。気密性が求められるのは、容器周囲の空気を汚染するおそれのある放射性同位元素を入れる容器である。
- B: 正 則第17条第1項第8号
- C: 誤 則第17条第1項第2号
遮蔽能力ではなく「貯蔵能力」を超えて貯蔵してはならない。
- D: 正 則第17条第1項第9号

問17 L型輸送物に係る技術上の基準に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 表面における1センチメートル線量当量率の最大値が5マイクロシーベルト毎時を超えないこと。
- B 外接する直方体の各辺が10センチメートル以上であること。
- C 容易に、かつ、安全に取り扱うことができること。
- D みだりに開封されないように、かつ、開封された場合に開封されたことが明らかになるように、容易に破れないシールの貼付け等の措置が講じられていること。

- 1) AとB 2) AとC 3) BとC 4) BとD 5) CとD

〔解答〕

2

注) 則第18条の4(L型輸送物に係る技術上の基準)第1項, 則第18条の5(A型輸送物に係る技術上の基準)第1項

- A: 正 則第18条の4第1項第7号
- B: 誤 則第18条の5第1項第2号
A型輸送物に求められる基準である。
- C: 正 則第18条の4第1項第1号
- D: 誤 則第18条の5第1項第3号
A型輸送物に求められる基準である。

問18 次のうち、放射線の量の測定を行う場所として、放射線障害防止法上定められているものの組合せはど

れか。

- A 事業所等内において人が居住する区域
- B 事業所等内において人が業務を行う区域
- C 事業所等の境界
- D 管理区域の境界

- 1) ACD のみ 2) AB のみ 3) BC のみ 4) D のみ 5) ABCD すべて

〔解答〕

1

注) 則第 20 条 (測定) 第 1 項

- A : 正 則第 20 条第 1 項第 3 号
- B : 誤 そのような規定はない。
- C : 正 則第 20 条第 1 項第 3 号
- D : 正 則第 20 条第 1 項第 3 号

問 19 放射線の量の測定に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上正しいものの組合せは、どれか。なお、中性子線による被ばくはないものとする。

- A 1 センチメートル線量当量率又は 1 センチメートル線量当量の測定を行うこと。
- B 70 マイクロメートル線量当量率が 1 センチメートル線量当量率の 10 倍を超えるおそれのある場所については、70 マイクロメートル線量当量率の測定を行うこと。
- C 作業を開始する前に 1 回行うこと。
- D 作業を開始した後には、1 年を超えない期間ごとに 1 回行うこと。

- 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) 則第 20 条 (測定) 第 1 項

- A : 正 則第 20 条第 1 項第 1 号
- B : 正 則第 20 条第 1 項第 1 号
- C : 正 則第 20 条第 1 項第 4 号
- D : 誤 則第 20 条第 1 項第 4 号イ、ロ、ハ

問 20 放射線障害予防規程を原子力規制委員会に届け出なければならない者として、放射線障害防止法上正しいものの組合せは、次のうちどれか。

- A 表示付認証機器届出使用者
- B 密封された放射性同位元素のみを販売する届出販売業者
- C 届出使用者
- D 表示付認証機器のみを賃貸する届出賃貸業者

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

〔解答〕

3

注) 法第 21 条 (放射線障害予防規程) 第 1 項

- A : 誤 そのような規定はない。
- B : 正 法第 21 条第 1 項

C：正 法第21条第1項

D：誤 そのような規定はない。表示付認証機器等のみを販売又は賃貸する届出販売業者及び届出賃貸業者は放射線障害予防規程作成の義務はない。

問21 初めて管理区域に立ち入る前の放射線業務従事者に対して行う教育及び訓練として、放射線障害防止法上定められている項目と時間数の組合せは、次のうちどれか。ただし、対象者には、教育及び訓練の項目又は事項の全部又は一部に関し十分な知識及び技能を有していると認められる者は、含まれていないものとする。

項 目	時間数
A 放射性同位元素の安全取扱い	－ 30分以上
B 放射線の人体に与える影響	－ 30分以上
C 密封された放射性同位元素の取扱いに係る事故が発生した場合の対応	－ 30分以上
D 放射線障害の防止に関する法令及び放射線障害予防規程	－ 30分以上
1) AとB 2) AとC 3) AとD 4) BとD 5) CとD	

〔解答〕

4

注) 則第21条の2（教育訓練）第3項、「放射線障害の防止に関する教育及び訓練の時間数を定める告示（平成3年11月15日科学技術庁告示第10号）」

A：誤 則第21条の2第3項、「放射線障害の防止に関する教育及び訓練の時間数を定める告示」。放射性同位元素等又は放射線発生装置の安全取扱いとして1時間以上が定められている。

B：正 則第21条の2第3項、「放射線障害の防止に関する教育及び訓練の時間数を定める告示」

C：誤 そのような規定はない。

D：正 則第21条の2第3項、「放射線障害の防止に関する教育及び訓練の時間数を定める告示」

問22 放射線業務従事者の健康診断の方法に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上正しいものの組合せはどれか。

A 初めて管理区域に立ち入る前に行う健康診断のうち、末しょう血液中の血色素量又はヘマトクリット値、赤血球数、白血球数及び白血球百分率に関する検査は、医師が必要と認める場合に限り行うこと。

B 初めて管理区域に立ち入る前に行う健康診断のうち、皮膚についての検査又は検診は、医師が必要と認める場合に限り行うこと。

C 初めて管理区域に立ち入る前に行う健康診断のうち、問診は、放射線の被ばく歴の有無について行うこと。

D 管理区域に立ち入った後、1年を超えない期間ごとに行う健康診断のうち、眼についての検査又は検診は、医師が必要と認める場合に限り行うこと。

1) ABCのみ 2) ABのみ 3) ADのみ 4) CDのみ 5) BCDのみ

〔解答〕

4

注) 則第22条（健康診断）第1項

A：誤 則第22条第1項第1号，6号

初めて管理区域に立ち入る前の血液検査は実施しなければならない。

B：誤 則第22条第1項第1号，6号

初めて管理区域に立ち入る前の皮膚についての検査又は検診は実施しなければならない。

- C：正 則第22条第1項第5号イ
D：正 則第22条第1項第6号ハ

問23 次のうち、密封された放射性同位元素のみを使用する許可使用者が、帳簿を備え、記載しなければならない事項の細目として、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 放射線施設に立ち入る者に対する教育及び訓練の実施年月日、項目、各項目の時間数(第21条の2第1項第2号の規定により初めて管理区域に立ち入る前又は同項第3号の規定により取扱等業務を開始する前に行わなければならない教育及び訓練に限る。)並びに当該教育及び訓練を受けた者の氏名
B 使用(詰替えを除く。)に係る放射性同位元素の種類及び数量
C 貯蔵施設における保管に係る放射性同位元素の保管の期間、方法及び場所
D 放射線施設の点検の実施年月日、点検の結果及びこれに伴う措置の内容並びに点検を行った者の氏名
1) ABCのみ 2) ABDのみ 3) ACDのみ 4) BCDのみ 5) ABCDすべて

〔解答〕

5

注) 則第24条(記帳)第1項

- A：正 則第24条第1項第1号タ
B：正 則第24条第1項第1号ハ
C：正 則第24条第1項第1号チ
D：正 則第24条第1項第1号ヨ

問24 密封された放射性同位元素(表示付認証機器又は表示付特定認証機器に装備されているものを除く。)の譲渡し、譲受け等の制限に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上正しいものの組合せはどれか。

- A 届出販売業者がその届け出た種類の放射性同位元素を、他の届出販売業者から譲り受けた。
B 届出賃貸業者がその届け出た種類の放射性同位元素を、輸出した。
C 届出使用者がその届け出た種類の放射性同位元素を、輸出した。
D 許可使用者がその許可証に記載された種類の放射性同位元素を、その許可証に記載された貯蔵施設の貯蔵能力の範囲内で借り受けた。
1) ABCのみ 2) ABDのみ 3) ACDのみ 4) BCDのみ 5) ABCDすべて

〔解答〕

5

注) 法第29条(譲渡し、譲受け等の制限)第1項

- A：正 法第29条第1項第3号
B：正 法第29条第1項第4号
C：正 法第29条第1項第2号
D：正 法第29条第1項第1号

問25 事故等の報告に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上正しいものの組合せはどれか。

- A 届出使用者は、放射線業務従事者について実効線量限度若しくは等価線量限度を超え、又は超えるおそれのある被ばくがあるときは、その旨を直ちに、その状況及びそれに対する処置を20日以内に

原子力規制委員会に報告しなければならない。

- B 届出販売業者から運搬を委託された者は、放射性同位元素の盗取又は所在不明が生じたときは、その旨を直ちに、その状況及びそれに対する処置を20日以内に原子力規制委員会に報告しなければならない。
- C 届出使用者は、放射性同位元素の使用における計画外の被ばくがあったときであって、当該被ばくに係る実効線量が、放射線業務従事者以外の者にあつては、0.1ミリシーベルトを超え、又は超えるおそれのあるときは、その旨を直ちに、その状況及びそれに対する処置を10日以内に原子力規制委員会に報告しなければならない。
- D 許可使用者は、貯蔵施設内の人が常時立ち入る場所において人が被ばくするおそれのある線量が線量限度を超え、又は超えるおそれのあるときは、その旨を直ちに、その状況及びそれに対する処置を10日以内に原子力規制委員会に報告しなければならない。
- 1) ACDのみ 2) ABのみ 3) BCのみ 4) Dのみ 5) ABCDすべて

〔解答〕

4

注) 則第28条の3(事故等の報告)第1項

- A: 誤 則第28条の3第1項第8号
その状況及びそれに対する処置は「20日以内」ではなく「10日以内」である。
- B: 誤 則第28条の3第1項第1号
届出販売業者から運搬を委託された者に報告の義務はない。但し、届出販売業者はその状況及びそれに対する処置を「20日以内」ではなく「10日以内」に報告する必要がある。
- C: 誤 則第28条の3第1項第7号
放射線業務従事者以外の当該被ばくに係る実効線量は「0.1ミリシーベルト」ではなく「0.5ミリシーベルト」である。
- D: 正 則第28条の3第1項第6号

問26 次のうち、第2種放射線取扱主任者免状を有している者を選任することのできる者として、放射線障害防止法上正しいものの組合せはどれか。

- A 密封された放射性同位元素のみを業として賃貸する届出賃貸業者
- B 密封されていない放射性同位元素のみを使用する許可使用者
- C 密封されていない放射性同位元素のみを業として販売する届出販売業者
- D 1個当たりの数量が100ギガベクレルの密封された放射性同位元素のみを使用する許可使用者
- 1) ACDのみ 2) ABのみ 3) ACのみ 4) BDのみ 5) BCDのみ

〔解答〕

1

注) 法第34条(放射線取扱主任者)第1項

- A: 正 法第34条第1項第3号
- B: 誤 法第34条第1項第1号
密封されていない放射性同位元素を使用する許可使用者は第1種放射線取扱主任者免状を有する者を選任する必要がある。
- C: 正 法第34条第1項第3号
- D: 正 法第34条第1項第2号
なお、1個当たり10テラベクレル以上の密封された放射性同位元素を使用する特定許可使用

者は第 1 種放射線取扱主任者免状を有する者を選任する必要がある。

問 27 放射線取扱主任者の義務等に関する次の文章の ~ に該当する語句について、放射線障害防止法上定められているものの組合せは、下記の選択肢のうちどれか。

『第 36 条 放射線取扱主任者は、 にその職務を遂行しなければならない。

2 使用施設、廃棄物詰替施設、貯蔵施設、廃棄物貯蔵施設又は廃棄施設に立ち入る者は、放射線取扱主任者がこの法律若しくはこの法律に基づく命令又は の実施を確保するためにする指示に従わなければならない。

3 前項に定めるもののほか、許可届出使用者、届出販売業者、届出貨貸業者及び許可廃棄業者は、 に関し、放射線取扱主任者の を尊重しなければならない。』

	<input type="text" value="A"/>	<input type="text" value="B"/>	<input type="text" value="C"/>	<input type="text" value="D"/>
1)	誠実	放射線障害防止法	放射線安全管理	意見
2)	的確	放射線障害予防規程	放射線安全管理	助言
3)	誠実	放射線障害予防規程	放射線障害の防止	意見
4)	的確	放射線障害防止法	放射線障害の防止	助言
5)	誠実	放射線障害予防規程	放射性同位元素の使用等	助言

〔解答〕

3

注) 法第 36 条 (放射線取扱主任者の義務等)

問 28 次のうち、届出販売業者が選任した放射線取扱主任者が受講する定期講習の課目として、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 法に関する課目
 - B 放射性同位元素 (密封されたものに限る。) の取扱いに関する課目
 - C 放射性同位元素等の取扱いの事故の事例に関する課目
 - D 貯蔵施設 (密封された放射性同位元素を取り扱うものに限る。) の安全管理に関する課目
- 1) A と B 2) A と C 3) A と D 4) B と D 5) C と D

〔解答〕

2

注) 法第 36 条の 2 (放射線取扱主任者定期講習) 第 1 項, 第 2 項, 則第 32 条 (放射線取扱主任者定期講習) 第 4 項, 則別表第 4

- A : 正 法第 36 条の 2 第 1 項, 第 2 項, 則第 32 条第 4 項, 則別表第 4 (定期講習の種類 (3) の (1))
- B : 誤 そのような規定はない。
- C : 正 法第 36 条の 2 第 1 項, 第 2 項, 則第 32 条第 4 項, 則別表第 4 (定期講習の種類 (3) の (2))
- D : 誤 そのような規定はない。届出販売業者は放射線施設を有しない。

問 29 1 個当たりの数量が 5 テラベクレルの密封された放射性同位元素が装備されている放射性同位元素装備機器のみ 3 台を使用している許可使用者において、放射線取扱主任者が海外出張をすることになった。当該放射線取扱主任者がその職務を行うことができないが、この間も放射性同位元素を継続して使用することとした。この出張期間中における放射線取扱主任者の代理者の選任に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上正しいものの組合せはどれか。

- A 出張の期間が 5 日間であったので、放射線取扱主任者の代理者の選任は行わなかった。

- B 出張の期間が 45 日間であったので、第 2 種放射線取扱主任者免状を有している者を代理者に選任し、選任した日の 20 日後に原子力規制委員会にその旨の届出を行った。
 - C 出張の期間が 90 日間であったので、第 1 種放射線取扱主任者免状を有している者を代理者に選任し、選任した日の 40 日後に原子力規制委員会にその旨の届出を行った。
 - D 出張の期間が 20 日間であったので、第 1 種放射線取扱主任者免状を有している者を代理者に選任したが、原子力規制委員会にその旨の届出は行わなかった。
- 1) ACD のみ 2) AB のみ 3) AC のみ 4) BD のみ 5) BCD のみ

〔解答〕

4

注) 法第 34 条 (放射線取扱主任者) 第 1 項, 法第 37 条 (放射線取扱主任者の代理者) 第 1 項, 第 2 項, 第 3 項, 則第 33 条 (放射線取扱主任者の代理者の選任等) 第 3 項

- A : 誤 法第 34 条第 1 項第 2 号, 法第 37 条第 1 項, 第 2 項, 第 3 項, 則第 33 条第 3 項
職務を行うことができない期間が 30 日に満たない場合には, 法第 37 条第 3 項の規定による届出を要しないが代理者を選任する必要はある。
- B : 正 法第 34 条第 1 項第 2 号, 法第 37 条第 1 項, 第 2 項, 第 3 項
- C : 誤 法第 34 条第 1 項第 2 号, 法第 37 条第 1 項, 第 2 項, 第 3 項
放射線取扱主任者の代理者を選任したときは選任した日の「40 日後」ではなく「30 日以内」に原子力規制委員会に届け出なければならない。
- D : 正 法第 34 条第 1 項第 2 号, 法第 37 条第 1 項, 第 2 項, 第 3 項, 則第 33 条第 3 項

問 30 実効線量限度に関する次の文章の ~ に該当する数値について, 放射線障害防止法上定められているものの組合せは, 下記の選択肢のうちどれか。

『第 5 条 規則第 1 条第 10 号に規定する放射線業務従事者の一定期間内における線量限度は, 次のとおりとする。

- (1) 平成 13 年 4 月 1 日以後 5 年ごとに区分した各期間につき ミリシーベルト
- (2) 4 月 1 日を始期とする 1 年間につき ミリシーベルト
- (3) 女子 (妊娠不能と診断された者, 妊娠の意思のない旨を許可届出使用者又は許可廃棄業者に書面で申し出た者及び次号に規定する者を除く。) については, 前 2 号に規定するほか, 4 月 1 日, 7 月 1 日, 10 月 1 日及び 1 月 1 日を始期とする各 3 月間につき ミリシーベルト
- (4) 妊娠中である女子については, 第 1 号及び第 2 号に規定するほか, 本人の申出等により許可届出使用者又は許可廃棄業者が妊娠の事実を知ったときから出産までの間につき, 人体内部に摂取した放射性同位元素からの放射線に被ばくすることについて 1 ミリシーベルト』

	A	B	C
1)	250	50	10
2)	250	100	10
3)	100	50	5
4)	100	50	10
5)	250	50	5

〔解答〕

3

注) 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件 (平成 12 年 10 月 23 日科学技術庁告示第 5 号) 第 5 条 (実効線量限度)

実 務

第 61 回 (令和元年)

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、問 12 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 放射線加重係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 内部被ばくには、外部被ばくよりも大きい放射線加重係数が適用される。
- B 急性被ばくには、慢性被ばくよりも大きい放射線加重係数が適用される。
- C 幼児には、成人よりも大きい放射線加重係数が適用される。
- D 放射線加重係数は、確定的影響の発生率の推定には適用されない。

- 1) ACD のみ 2) AB のみ 3) BC のみ 4) D のみ 5) ABCD すべて

〔解答〕

4

注) A～D：ICRP は、放射線防護の目的で使用するために、各組織・臓器の平均吸収線量*を放射線の種類やエネルギーに応じた放射線加重係数で重み付けした等価線量を定義した（さらに、等価線量に各組織・臓器の確率的影響の現れ方を考慮した組織加重係数で重み付けしたのが実効線量である）。放射線加重係数は、低線量における確率的影響を誘発する生物効果比（RBE）を参考に決定されたため、確定的影響の発生率の推定に用いることは適切ではない。また、この係数は、外部被ばく、内部被ばく、線量率、年齢、性別などの条件に関わらず、放射線の種類に応じて固有の値が与えられている（中性子についてはエネルギーに対応した連続関数としている）。この値は、防護の目的での利便性を考慮し、容認できる範囲で単純化されている。

*LNT モデルに基づくとの仮定のもと、臓器ごとに平均化した吸収線量

問 2 次の内部被ばくに関する文章の A ～ D に入る語句又は数値として、最も適切なものの組合せはどれか。

A は、特定の臓器または組織の B とその組織加重係数との積の和である。ここで、 B は、放射性物質を摂取後、等価線量率を時間積分して求められる。時間積分は、職業被ばく及び公衆の成人に対しては C 年、子供や乳幼児に対しては摂取から D 歳までの年数とする。

- | | <input type="text"/> A <input type="text"/> | <input type="text"/> B <input type="text"/> | <input type="text"/> C <input type="text"/> | <input type="text"/> D <input type="text"/> |
|-----------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1) 預託実効線量 | 預託等価線量 | 30 | 50 | |
| 2) 実効線量 | 等価線量 | 50 | 70 | |
| 3) 実効線量 | 預託等価線量 | 30 | 60 | |
| 4) 実効線量 | 等価線量 | 50 | 60 | |
| 5) 預託実効線量 | 預託等価線量 | 50 | 70 | |

〔解答〕

5

注) A～D：体内に摂取された放射性物質からの被ばくを防御することは困難である。摂取後はその放射性物質が存在する限り内部被ばくし続けることになるので、長期にわたって積算して評価する必要がある。

預託実効線量は、臓器又は組織の預託等価線量と適切な組織加重係数との積の和である。預託等価線量は、放射性物質を摂取後、等価線量率を時間積分して求められる。時間積分（預託期間）は、職業被ばく及び公衆の成人に対して50年、子供や乳幼児に対しては摂取から70歳までの年数とされている。

問3 放射線の遮蔽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 線は、ゴム手袋（厚さ0.3mm）で遮蔽される。
 - B 高エネルギー β 線の遮蔽では、制動放射線の発生を考慮する。
 - C γ 線の遮蔽には、原子番号の大きい物質が効果的である。
 - D 中性子の遮蔽には、水やパラフィンが用いられる。
- 1) ACDのみ 2) ABのみ 3) BCのみ 4) Dのみ 5) ABCDすべて

〔解答〕

5

- 注) A：正 放射性物質からの α 線のエネルギーはおよそ4～9 MeVである。
 数MeVの α 線のゴム中での飛程は数十 μ m程度である。このため0.3mmのゴム手袋で容易に遮蔽できる。
- B：正 制動放射線は、 β 線のエネルギーが大きいほど、また、用いる遮蔽体の原子番号が大きいほど発生しやすい。
- C：正 γ 線が物質に入射したときの主要な相互作用は、光電効果、コンプトン散乱、電子対生成である。光電効果の断面積 τ は、原子番号のおよそ4～5乗に比例する。コンプトン散乱の断面積 ρ は、原子番号に比例する。電子対生成は γ 線のエネルギーが1.022 MeV以上でなければ起こらないが、その断面積 κ は、原子番号の二乗に比例する。このため、 γ 線の遮蔽には原子番号の大きい鉛などの物質が効果的である。
- D：正 中性子は、軽い原子核との弾性散乱で大きくエネルギーを失うため、水素を多く含む水やパラフィンが遮蔽に有効である。

問4 ^{60}Co 点線源周辺の3箇所の地点A～Cについて、実効線量率が高い順に並んでいるものは、次のうちどれか。ただし、 ^{60}Co 点線源の放射能[MBq]、遮蔽材、線源－評価地点間の距離[m]は下表のとおりとする。また、周囲の物質による散乱は無視する。

地点	放射能[MBq]	遮蔽材	距離[m]
A	100	なし	2
B	200	なし	3
C	400	厚さ10 cmの鉛板	2

- 1) A > B > C
- 2) A > C > B
- 3) B > A > C
- 4) B > C > A
- 5) C > B > A

〔解答〕

1

注) 本問を厳密に解こうとすると、 ^{60}Co の実効線量率定数 ($0.305 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) や 10 cm の鉛を透過した場合の実効線量透過率 (4.80×10^{-3})*のデータが必要となる。これらの値を用いるとともに、点線源の実効線量率が距離の二乗に逆比例することを考慮して、表の条件で A, B, C の実効線量率を計算すると、

$$\text{A} : 100 \times 0.305 \div 2^2 = 7.625 [\mu\text{Sv/h}]$$

$$\text{B} : 200 \times 0.305 \div 3^2 = 6.778 [\mu\text{Sv/h}]$$

$$\text{C} : 400 \times 0.305 \times 4.80 \times 10^{-3} \div 2^2 = 0.1464 [\mu\text{Sv/h}]$$

となる。よって、 $\text{A} > \text{B} > \text{C}$ となる。

*放射線施設の遮へい計算実務(放射線)データ集2015(原子力安全技術センター)より引用

しかしながら、本問では上記のデータが与えられていないので、次のように求めればよいであろう。

まず、 ^{60}Co の実効線量率定数を $x [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}]$ として、上と同じように A と B の実効線量率を計算すると、

$$\text{A} : 100 \times x \div 2^2 = 25x [\mu\text{Sv/h}]$$

$$\text{B} : 200 \times x \div 3^2 = 22x [\mu\text{Sv/h}]$$

となり、 $\text{A} > \text{B}$ の関係が導かれる。

次に、C点については、まず、遮蔽体が無いものとして実効線量率を求めると、

$$\text{C (遮蔽体無し)} : 400 \times x \div 2^2 = 100x [\mu\text{Sv/h}]$$

となる。ここで、 ^{60}Co の γ 線に対する半価層が鉛では約 1 cm (コンクリートの場合には約 5 cm) であることを利用すれば*、厚さ 10 cm の鉛板で遮蔽すれば実効線量率は $1 / 2^{10} \approx 1 / 1000$ になるので、

$$\text{C} : 100x \div 1000 = 0.1x [\mu\text{Sv/h}]$$

となり、正確な値での比較ではないが、 $\text{A} > \text{B} > \text{C}$ の関係を得ることができる。

* γ 線の鉛に対する半価層は、 ^{60}Co などの主要核種については記憶しておく必要がある。

問5 放射性同位元素の利用機器に用いられる次の密封線源のうち、構造上破損しやすい部位があるため、取扱いに注意を要するものの組合せはどれか。

A ^{85}Kr

B ^{147}Pm

C ^{192}Ir

D ^{252}Cf

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

〔解答〕

1

注) ^{85}Kr や ^{147}Pm の密封線源は、 β 線を用いており、厚さ計などに利用される。これらは β 線を透過させるために窓が薄くなっており、破損しやすい。

^{192}Ir 密封線源は、およそ 300~600 keV の γ 線を用いて非破壊検査や密封小線源治療などに利用される。 ^{252}Cf 密封線源は、自発核分裂による平均 2.3 MeV の中性子線を用いて水分計などに利用される。 γ 線や中性子線は透過性が高いため、構造を堅牢にできる。

問6 次の検出器のうち、 β 線の測定に用いられるものとして、正しいものの組合せはどれか。

- A 薄窓型電離箱
- B $\text{ZnS}(\text{Ag})$ シンチレーション検出器
- C プラスチックシンチレーション検出器
- D ^3He 比例計数管
- E 端窓型 GM 計数管

- 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

B：誤 α 線の測定に用いられる。

C：正

D：誤 熱中性子の測定に用いられる。

E：正

問7 次の放射線検出器のうち、高エネルギーの中性子を、減速材を用いずに測定するのに適した検出器の組合せはどれか。

- A メタンガスを充填した比例計数管
- B プラスチックシンチレータを搭載したシンチレーション検出器
- C $^{10}\text{BF}_3$ ガスを充填した比例計数管
- D $^6\text{Li}(\text{Eu})$ シンチレータを搭載したシンチレーション検出器

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

〔解答〕

1

注) A~D：高速中性子は、水素と弾性散乱し、反跳陽子を生じる。

比例計数管の充填ガスにメタンを使用することで、メタンの水素との弾性散乱で生じた反跳陽子による電離を比例計数管で測定できる。また、プラスチックシンチレーター中の水素との弾性散乱で生じた反跳陽子による発光をシンチレーション検出器で検出できる。

^{10}B や ^6Li は、減速材で減速した熱中性子との $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)^7\text{Li}$ や $^6\text{Li}(\text{n}, \alpha)^3\text{H}$ で生じた荷電粒子による電離を比例計数管で、発光をシンチレーション検出器でそれぞれ検出できる。

問8 個人線量計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 蛍光ガラス線量計は、輝尽発光を利用している。
- B OSL 線量計は、ラジオフォトルミネセンスを利用している。
- C 固体飛跡検出器は、コンバータと組み合わせて中性子の線量測定に用いられる。
- D 熱蛍光線量計では、グローカーブの面積から線量を求める。

- 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 ラジオフォトルミネッセンスを利用している。輝尽発光を利用しているものは、BのOSL線量計やイメージングプレートである。
- B：誤 光刺激ルミネッセンス (Optically Stimulated Luminescence) を利用している。
- C：正 中性子は非荷電粒子であり、直接には固体飛跡検出器に飛跡をつくらないが、コンバータとして窒化ホウ素 (^{10}B との相互作用で発生する α 粒子を計測) や、高密度ポリエチレン (水素との相互作用で発生する反跳陽子を計測) などを組み合わせることで、熱中性子や高速中性子が測定できる。この仕組みを利用した個人線量計が使用されている。
- D：正 熱蛍光線量計では、比較的広い線量範囲において吸収線量がグローカーブ面積に比例することを利用して線量を求める。

問9 照射装置の点検中に線源の脱落によって放射線業務従事者が実効線量限度を超えるおそれのある外部被ばくをした場合の措置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 照射室内の放射線業務従事者すべてを照射室外に退避させる。
- B 照射室への立入禁止の措置をとる。
- C 事故が発生したことを直ちに原子力規制委員会へ報告する。
- D 実効線量限度を超えるおそれのある被ばくをした放射線業務従事者に対し、健康診断を受けさせる。
- 1) ABCのみ 2) ABDのみ 3) ACDのみ 4) BCDのみ 5) ABCDすべて

〔解答〕

5

- 注) すべて正しい。なお、一連の措置が完了した段階で、原因を検証して再発防止策を講じることが重要である。
- A：則第29条第1項第2号
- B：則第23条第1号、則第29条第1項第2号
- C：則第28条の3第8号
- D：則第23条第2号

問10 密封線源の破損等に起因する放射性核種による皮膚の汚染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 皮膚汚染の除染には、主に、有機溶媒が用いられる。
- B β ・ γ 線放出核種による皮膚汚染を検出するためには、主に、汚染物から放出される γ 線の測定が行われる。
- C ZnS(Ag) シンチレーション式サーベイメータは、 α 線放出核種による皮膚汚染の検出に用いることができる。
- D β ・ γ 線放出核種による皮膚汚染は、ホールボディカウンタによる体内放射能の測定に過大評価をもたらすおそれがある。
- 1) AとB 2) AとC 3) BとC 4) BとD 5) CとD

〔解答〕

5

- 注) A：誤 有機溶媒は放射性物質の皮膚透過を促進することがあり、通常は使用されない。汚染した放射性核種の化学的性状に応じて、速やかに中性洗剤やオレンジオイルなどを用いた水洗い(傷を

つけない程度のブラシによるこすり洗い)を行う。キレート形成剤を加えると効果が上がることもある。

- B：誤 $\beta \cdot \gamma$ 線放出核種による皮膚汚染では、GMサーベイメータを用いて β 線を測定する。これは、GMサーベイメータが β 線に特に検出効率がよく、比べて γ 線の検出効率が低いためである。より詳しく表面汚染を調べる場合は、プローブの入射窓と皮膚表面にアクリル板などを挿入して測定し、挿入前の測定値から減算すると、プローブの側壁は β 線を透過せず、入射窓方向においても内部被ばくでは組織によって β 線が遮蔽されるが、 γ 線の計数値は両者で差が小さいため、正味の表面汚染 β 線を算出することができる。
- C：正 ZnS(Ag)は白色の粉末であり発光量は非常に大きい。光の透過度が低いため薄膜状のシンチレーターとなっている。このため、 β 線、 γ 線に対する検出効率は極めて低く、 α 線のみを検出できる。
- D：正 ホールボディカウンターは、体内からの γ 線を計測して内部被ばくを評価するが、体表面が $\beta \cdot \gamma$ 線で汚染されている場合、これらを内部被ばくと誤って計測してしまうおそれがある。

問11 GM計数管及びGM管式サーベイメータに関する次の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 GM計数管内で最初の電離過程により生成した電子は、気体分子と衝突しながら陽極に向かって移動し、陽極近傍の、電場の強い領域に達すると、次の衝突までの間に十分な□A□エネルギーを得て他の気体分子を電離するようになり、さらに、この二次電離過程で生成した電子もまた他の気体分子を電離し、電子数は増大してゆく。こうした電離過程は、□B□と呼ばれる。

この過程では、電子-イオン対とともに多数の□C□が作られる。□C□は、短時間で可視光あるいは□D□線領域の光子を放出して基底状態に戻る。これらの光子は、ある確率で、管壁内表面等で□E□され、電子が放出される。この新しく生じた電子も陽極に向かって移動し、最初に□B□が生じた場所とは別の場所で□B□を引き起こす。光子が□E□される確率 p と1つの□B□で作られる□C□の数 n との積が、GM計数管では□F□であり、□B□は急速に陽極全体に広がる。こうした現象は、□G□放電と呼ばれる。

以上の過程は電子の移動によるものであり、ごく短時間のうちに起こる。一方、□H□の移動は電子に比べて遅く、陽極全体を鞘のように覆うので一時的に電場が弱まり、放電は停止する。□H□は次第に陰極に向かって移動してゆき、電場は回復してゆく。□H□は最終的に陰極の表面に達して中性分子となるが、このとき、その表面から□I□が引き出されると、その□I□が引き金となって第二の□G□放電が引き起こされる。この過程が繰り返されることにより、多重パルスからなる連続出力が発生し、計数管として動作しなくなる。この現象を防止するために、通常の内部消滅型GM計数管には、消滅ガスと呼ばれる□J□ガスやハロゲンガスが少量混ぜられている。

<A, Bの解答群>

- | | | | |
|------------|----------|---------|---------|
| 1) 自由 | 2) 反跳 | 3) 運動 | 4) 束縛 |
| 5) 電磁カスケード | 6) 電子なだれ | 7) 電離飽和 | 8) 電子平衡 |

<C~Gの解答群>

- | | | | |
|---------|-----------------|-----------------|-------------------|
| 1) ラジカル | 2) 反跳原子 | 3) 励起分子 | 4) γ |
| 5) 紫外 | 6) 赤外 | 7) ラマン散乱 | 8) レイリー散乱 |
| 9) 光電吸収 | 10) $np \leq 1$ | 11) $np \geq 1$ | 12) $np = e^{-1}$ |
| 13) コロナ | 14) ガイガー | 15) グロー | |

<H~Jの解答群>

- | | | | |
|--------|---------|---------|---------|
| 1) ホール | 2) ラジカル | 3) 陰イオン | 4) 陽イオン |
| 5) 中性子 | 6) 電子 | 7) 陽子 | 8) 陽電子 |
| 9) 窒素 | 10) 炭酸 | 11) 不活性 | 12) 有機 |

II 密封 γ 線源を使用している施設において、エリアモニタリングに対する実用量の1つである **K** 率(以下、単に線量率)の測定に、GM管式サーベイメータを用いる際には、次の(1)~(4)に述べるような、GM管式サーベイメータの特性を理解して使用する必要がある。

- (1) Iで述べたように、GM計数管では、**G** 放電が停止した後、電場が回復して次の計数が開始されるまでに一定の時間がかかり、この間は放射線を検出せず、放射線の **L** が生ずる。初めの **G** 放電が生じたときから、次の計測が可能になるまでの間の時間は **M** と呼ばれる。ここで、観測された計数率を $M[s^{-1}]$ 、**M** を $\tau[s]$ とすると、単位時間(1s)の計数で実際に有感であった時間は **N** [s] であるので、観測された計数率 M をこの時間で除すことにより、**L** を補正した計数率が求められる。

例えば、線量率 $1.0\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ を示すときに、計数率が 3.0s^{-1} である GM管式サーベイメータを使用したとする。このサーベイメータで指示値 $200\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ が得られたとき、補正後の線量率は、約 **O** $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ と算出される。なお、このサーベイメータの **M** は $200\mu\text{s}$ であったとする。

- (2) **P** 線の測定も主用途の1つとする機種 of GM管式サーベイメータにより **P** 線の影響を避けて線量率を測定する場合には、検出部の先端のキャップを **Q** 状態で使用する。なお、機器はこの状態で校正されている。
- (3) 円筒型 GM管式サーベイメータにおいて、線量率の校正は、軸方向前方からの入射条件で行われる。計数管の周方向からの入射が多い環境では、見かけ上、**R** 線量率を示す。この理由は、軸方向からに比べて GM計数管への入射断面積が大きくなるため、 $X\cdot\gamma$ 線と計数管の **S** との相互作用により発生した電子が増加するからである。
- (4) GM管式サーベイメータは、電離箱式やエネルギー補償型 NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータと比べ、エネルギー特性がよくない。例えば、 ^{137}Cs 線源で校正された機器を、**T** keV 前後の $X\cdot\gamma$ 線の多い環境で使用すると、一般的に、見かけ上、高い線量率を示す。

<Kの解答群>

- | | | | |
|--------------|-----------|---------|---------|
| 1) 1 cm 線量当量 | 2) 空気吸収線量 | 3) 照射線量 | 4) 実効線量 |
|--------------|-----------|---------|---------|

<L~Nの解答群>

- | | | | |
|-------------|-------------|---------------|-----------|
| 1) 遅延時間 | 2) 減衰時間 | 3) 時定数 | 4) 分解時間 |
| 5) パイルアップ | 6) 二重計数 | 7) 数え落し | 8) τ |
| 9) $1-\tau$ | 10) $M\tau$ | 11) $1-M\tau$ | |

<Oの解答群>

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1) 210 | 2) 220 | 3) 230 | 4) 240 | 5) 250 |
| 6) 260 | | | | |

<P~Tの解答群>

- | | | | |
|-------------|-------------|-----------|------------|
| 1) α | 2) β | 3) 中性子 | 4) はずした |
| 5) かぶせた | 6) 低い | 7) 高い | 8) 先端のキャップ |
| 9) 管壁 | 10) 計数ガス | 11) 周囲の空気 | 12) 20~30 |
| 13) 80~100 | 14) 600~700 | | |

〔解答〕

I A-3 B-6 C-3 D-5 E-9 F-11 G-14 H-4 I-6
J-12

注) GM 計数管は放射線の電離作用を利用した計測装置の一つであり、その検出感度の高さからサーベイメータをはじめとしたさまざまな測定機器に応用されている。しかし、本問で出題されている数え落としや方位特性、エネルギー特性など、測定原理に関わる誤差の要因を理解せずに使用すると、誤った判断をする原因にもなりうる。

D：励起分子から放出される光子のエネルギーは eV 程度であることが多く、紫外線領域(波長 10~400 nm, エネルギー 3~120 eV 程度)になる。

F：光子が光電吸収される確率 p と 1 つの光電吸収で作られる励起分子の数 n の積は、光子の発生数の期待値となり、1 より大きい場合は、文章の通り、光子の発生数が徐々に増えていく。

J：消滅ガスには有機ガス(エタノールやエチレンなど)を用いる場合と、ハロゲンガス(塩素や臭素など)を用いる場合とがある。前者の有機ガス型の方は、高い印加電圧を必要とするが、分解時間が短い、プラトートの幅が長いなどの特長がある。しかしながら、放電を止めるたびに有機ガスが分解してなくなっていくため、やがて GM 管の寿命がきてしまう。他方、ハロゲンガスは 2 原子分子であるので分解しても再結合するため、原理的には寿命は半永久的といえるが、プラトート特性が悪いという難点がある。

II K-1 L-7 M-4 N-11 O-3 P-2 Q-5 R-7 S-9
T-13

注) N：1 本の放射線を測定すると、それに伴い必ず分解時間が生じる。放射線 1 本分の分解時間が τ [s] であった場合、1 秒間で M 個の放射線を検出したとすると、 $M\tau$ [s] の不感時間が存在し、この時間帯に入射した放射線は検出されない。言い換えれば、それ以外の時間帯に入射した放射線は検出されたことになるので、有感時間は $1 - M\tau$ [s] となる。

O：線量率 $1.0 [\mu \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}]$ のとき、計数率が $3.0 [\text{s}^{-1}]$ であれば、 $200 [\mu \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}]$ のとき、計数率は $600 [\text{s}^{-1}]$ となるはずである。しかし、実際には前述の数え落としがあるため、以下のように補正する必要がある。

$$\begin{aligned} M / (1 - M\tau) &= 600 [\text{s}^{-1}] / (1 - 600 [\text{s}^{-1}] \times 200 \times 10^{-6} [\text{s}]) \\ &\doteq 682 [\text{s}^{-1}] \end{aligned}$$

これを線量率に変換すれば、 $682 [\text{s}^{-1}] / 3.0 [\text{s}^{-1} / (\mu \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1})] = 227.333 \dots \doteq 230 [\mu \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}]$ 。

P：GM 計数管で主に測定されるのは β 線と X・ γ 線である。 α 線はプローブに入射するまでに吸収され、中性子線は気体分子を電離しにくい。

Q： β 線の方が透過力が弱いので、キャップをしてプローブ部分を覆ってしまえば吸収されてしまい、カウントされない。

R, S：GM 計数管の方向特性の説明であり、この理由から GM 計数管での測定では、同一方向から放射線が入射するようにして測定する必要がある。

T： ^{137}Cs から検出される γ 線のエネルギーは 662 keV であり、それより低いエネルギー範囲では、問題文の通り高い線量率を示す(図 1 参照)。ただし、20~30 keV の X・ γ 線はエネルギーが低すぎて、GM 計数管では検出できない。

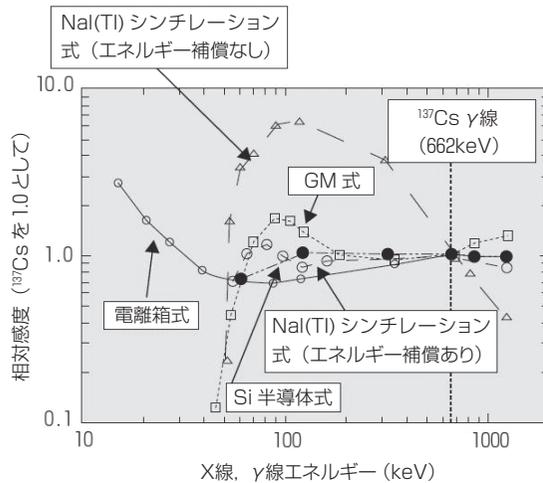
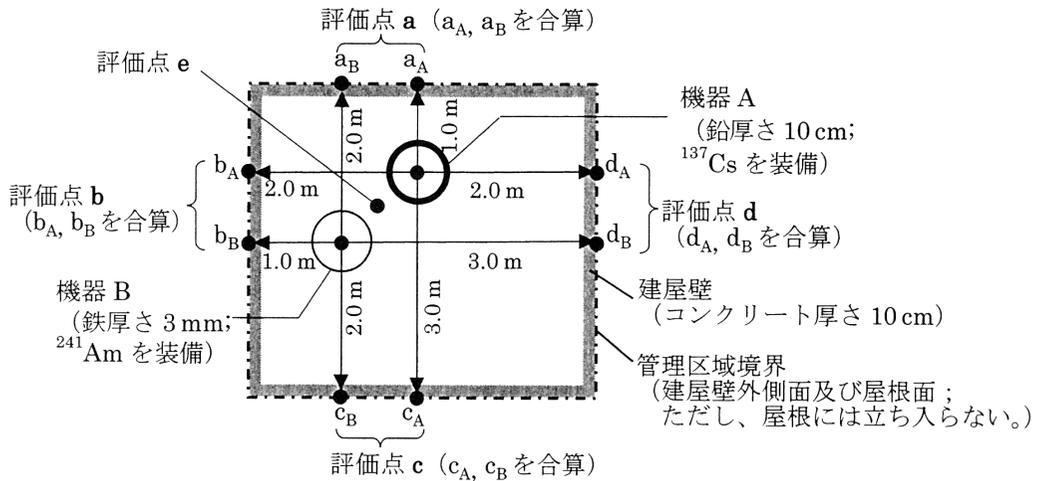


図1 様々なサーベイメータのエネルギー特性

「はじめての放射線測定(日本アイソトープ協会, 2013)から転載」(一部改変)

問12 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 上図で示すように、この事業所では、コンクリート平屋建ての建屋で、試料照射に用いる線源装備機器2台を設置している。機器A(シャッタ及び容器の遮蔽：鉛厚さ10cm)には、 ^{137}Cs 密封線源(100GBq)1個を装備し、機器B(シャッタ及び容器の遮蔽：鉄厚さ3mm)には、 ^{241}Am 密封線源(20GBq)1個を装備している。線源は耐火性の構造の線源容器に収納されており、試料照射時(線源使用時)は試料を線源容器内に挿入する構造であり、放射線が直接外部に照射されることはない。各機器は線源から0.50mまで人が近づける構造である。なお、事業所の境界までは十分な距離を有している。

この施設における人が常時立ち入る場所における1週間当たりの実効線量及び管理区域の境界における3月間当たりの実効線量を次の表の値を用いて評価する。

核種	実効線量率定数 [$\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$]	実効線量透過率		
		鉛 10 cm	鉄 3 mm	コンクリート 10 cm
^{137}Cs	7.8×10^{-2}	2.0×10^{-5}	—	6.4×10^{-1}
^{241}Am	5.8×10^{-3}	—	4.9×10^{-2}	1.3×10^{-2}

評価時間は、人が常時立ち入る場所においては 1 週間につき 40 時間、管理区域の境界においては 3 月間につき 500 時間とする。また、線源の使用は最大 1 週間当たり 40 時間とする。なお、散乱線及びスカイシャインの影響は考えないものとする。

管理区域の境界における線量評価にあたっては、2 台の線源装備機器からの線量寄与を合算して評価する。また、実効線量が最大になり得る 4 方向の地点 (評価点 a~d) について 2 台の装置からの線量寄与を合算して評価することを考える。保守的な (安全側に) 評価をするため、各方向における線量は、それぞれの機器について管理区域境界までのそれぞれの最短距離で独立に求めた線量を単純に合算した値とする。この場合、管理区域の境界における実効線量が最大となる地点は、評価点 **A** であり、3 月間につき **A** μSv となる。この値は、法令で定める管理区域の設定に係る実効線量である 3 月間につき **イ** μSv を超えない。

また、人が常時立ち入る場所における線量評価点 e は、保守的な評価をするため、機器 A の線源からも機器 B の線源からも 0.50 m の距離であると仮定する。その地点における線量は、線源使用時においても保管時においても変わらない。この場合、人が常時立ち入る場所における作業者の実効線量は 1 週間につき **ウ** μSv となる。この値は、法令で定める人が常時立ち入る場所における線量限度である 1 週間につき **エ** μSv を超えない。

このことから本施設は、法令に定める線量限度以下とするために必要な遮蔽を有していることが分かる。

<A の解答群>

- 1) a 2) b 3) c 4) d

<ア, イの解答群>

- 1) 5.6×10^0 2) 9.3×10^0 3) 5.0×10^1 4) 6.0×10^1
 5) 2.5×10^2 6) 7.9×10^2 7) 1.0×10^3 8) 1.3×10^3
 9) 1.5×10^3 10) 2.0×10^3

<ウ, エの解答群>

- 1) 1.2×10^1 2) 2.5×10^1 3) 6.8×10^1 4) 9.2×10^1
 5) 2.4×10^2 6) 9.1×10^2 7) 9.4×10^2 8) 1.0×10^3
 9) 2.5×10^3 10) 4.0×10^3

II 本施設の放射線管理を行うため、1 cm 線量当量率を測定するサーベイメータを準備することを考える。本目的に用いるサーベイメータの検出器には、**B**、**C** などがよく用いられている。一般に広いエネルギー範囲にわたってエネルギー依存性が小さく、高い線量率まで測定できる **B** に比べて、**C** は自然バックグラウンドレベルの線量率から測定できるが、上限は数十 $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 程度のものが多い。本施設の管理区域境界の線量率を正確に測定する場合には、**C**

を用いることが望ましい。しかし、 ^{137}Cs 密封線源からは オ keV, ^{241}Am 密封線源からは主に カ keV の γ 線が放出されている点に留意すべきである。なぜならば、エネルギー補償された製品を選択しないと、一般に校正に用いられている ^{137}Cs γ 線に比べて ^{241}Am γ 線の場合 キ 程度高い指示値を示すからである。また、装置周辺の線量率の測定にも使用する場合には、機器 B の線源から 0.50 m の地点で実効線量率が ク $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ であるため、測定上限値にも注意が必要である。

<B, C の解答群>

- | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 1) BF_3 比例計数管 | 2) Ge 半導体検出器 |
| 3) $\text{NaI}(\text{Tl})$ シンチレーション検出器 | 4) $\text{ZnS}(\text{Ag})$ シンチレーション検出器 |
| 5) 電離箱 | 6) フッ化リチウム検出器 |
| 7) 表面障壁型 Si 半導体検出器 | 8) ガラスシンチレーション検出器 |

<オ, 力の解答群>

- | | | | | |
|---------|---------|---------|----------|-----------|
| 1) 30.6 | 2) 40.6 | 3) 59.5 | 4) 122 | 5) 186 |
| 6) 356 | 7) 662 | 8) 796 | 9) 1,170 | 10) 1,330 |

<キの解答群>

- | | | |
|--------|-------|--------|
| 1) 数十% | 2) 数倍 | 3) 数十倍 |
|--------|-------|--------|

<クの解答群>

- | | | | |
|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| 1) 7.4×10^{-2} | 2) 3.0×10^{-1} | 3) 2.3×10^1 | 4) 1.2×10^2 |
| 5) 4.6×10^2 | | | |

Ⅲ 密封線源であっても、不適切な取扱いがあった場合や、災害時に線源装備機器自体が損壊した場合等においては、その密封性が担保されない可能性がある。線源の密封性が損なわれた場合には、直ちに立ち入り禁止等の安全措置を講じるとともに、早急に原子力規制委員会への通報を要する。一方、平時においても密封線源の状態については定期的に点検を行うことが望ましい。点検は目視観察が主体となるが、汚染検査も有効である。

汚染検査に用いるサーベイメータの検出器には、 D , E などがよく用いられている。 ^{137}Cs 密封線源の検査には D , ^{241}Am 密封線源の検査には E を用いる。

汚染検査の方法としては、 F と G がある。密封線源の検査の場合は、測定対象(線源)から放射線が放出されており、漏洩している放射性同位元素からの放射線のみを測定するため、 F を用いることが適切である。

この検査方法では、スミアろ紙などで測定対象表面をふき取り、バックグラウンド線量率の低いところでふき取り試料を測定する。そのとき、測定器の検出下限値を超える計数があるかどうかで、汚染の有無を判定する。なお、機器に装備された線源の場合の汚染検査は、線源を直接ふき取ることは構造的に難しいことが多く、無用な外部被ばくが生じるおそれもあることから、線源容器周辺を検査対象とする方法もある。

有意な汚染が認められた場合、遊離性の表面(汚染)密度 A は、JIS Z 4504(2008)「放射性表面汚染の測定方法」に定める以下の式から評価する。

$$A = \frac{n - n_B}{\epsilon_i \times F \times S \times \epsilon_s}$$

ここで、 n は測定時の総計数率 [s^{-1}]、 n_B はバックグラウンド計数率 [s^{-1}]、 ϵ_i は線源に対して決められた幾何学的条件で測定したときの測定器の正味計数率と線源の表面放出率との比から求められる

□ H □, F は 1 回のふき取りでふき取られた放射能とふき取る前に存在した遊離性表面汚染の放射能との比から求められる □ I □, S はふき取り面積, ϵ_s は線源からの表面放出率と線源の中で放出される単位時間当たりの放射線粒子数との比である線源効率である。 ϵ_i は β 線測定の場合, β 線エネルギーに依存するため, 測定対象から放出される β 線エネルギーに対応した核種の線源を用いて決定 (校正) し, 著しく高いエネルギーの核種を校正に用いるべきではない。 F は実験的に求められている場合はその値を用い, 実験の評価がない場合には安全を考慮して 0.1 を用いる。 ϵ_s は, β 線最大エネルギーが 0.4 MeV 以上である ^{137}Cs の場合は □ ケ □ を, α 線を放出する ^{241}Am の場合は □ コ □ を用いる。

^{241}Am 密封線源の □ F □ による汚染検査において, 有意な汚染として, 測定時の総計数率が 490 min^{-1} , バックグラウンド計数率が 10 min^{-1} であった。 ϵ_i が 0.4, F は実験の評価値がなく, S は 100 cm^2 としたとき, 表面密度 A は □ サ □ $\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ と評価される。

<D, E の解答群>

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1) ^3He 比例計数管 | 2) CZT 半導体検出器 |
| 3) CsI(Tl) シンチレーション検出器 | 4) ZnS(Ag) シンチレーション検出器 |
| 5) 電離箱 | 6) GM 計数管 |
| 7) Ge 半導体検出器 | 8) 液体シンチレーション検出器 |

<F~I の解答群>

- | | | |
|------------|-----------|----------|
| 1) 直接測定法 | 2) 間接測定法 | 3) フェザー法 |
| 4) 固有効率 | 5) 幾何学的効率 | 6) 機器効率 |
| 7) 放出効率 | 8) 線源効率 | 9) 除去効率 |
| 10) ふき取り効率 | 11) 捕集効率 | 12) 採取効率 |

<ケ, コの解答群>

- | | | | |
|---------|--------|---------|--------|
| 1) 0.25 | 2) 0.5 | 3) 0.75 | 4) 1.0 |
|---------|--------|---------|--------|

<サの解答群>

- | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|-------|
| 1) 0.80 | 2) 1.6 | 3) 4.0 | 4) 8.0 | 5) 16 |
|---------|--------|--------|--------|-------|

〔解答〕

I A-1 ア-4 イ-8 ウ-7 エ-8

注) A, ア: 実効線量が最大なる地点とその値に関する問題である。遮蔽物とその厚さが同じであれば, 実効線量が最大となる地点は線源に近い点である。ここでは, 評価点 a と b が候補になる。まず, ^{137}Cs と ^{241}Am の実効線量を求める計算式を立てることにする。この際, 与えられている実効線量率定数の単位系に気をつける必要がある。実効線量透過率は, 遮蔽物がない場合を 1 としたとき, 遮蔽物を透過した後はどれほど減衰しているかを表す。容器の遮蔽材である鉛を透過した後の実効線量 (D) は以下ようになる。

機器 A の ^{137}Cs (100 GBq) については,

$$D^{137\text{Cs}} = (7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 100 \times 10^3 [\text{MBq}] \times (1/L_1)^2 [\text{m}^{-2}] \times t [\text{h}]) \times 2.0 \times 10^{-5} \text{ (容器の実効線量透過率)} \times 6.4 \times 10^{-1} \text{ (コンクリートの実効線量透過率)} \\ = 99.8 \times 10^{-3} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}] \times (1/L_1)^2 [\text{m}^{-2}] \times t [\text{h}]$$

また, 機器 B の ^{241}Am (20 GBq) については,

$$D^{241\text{Am}} = (5.8 \times 10^{-3} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 20 \times 10^3 [\text{MBq}] \times (1/L_2)^2 [\text{m}^{-2}] \times t [\text{h}]) \times 4.9 \times 10^{-2} \text{ (容器の実効線量透過率)} \times 1.3 \times 10^{-2} \text{ (コンクリートの実効線量透過率)} \\ = 73.9 \times 10^{-3} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}] \times (1/L_2)^2 [\text{m}^{-2}] \times t [\text{h}]$$

ここで, L_1, L_2 は評価点までの距離, t は評価時間を表す。

評価点 a は、機器 A までの距離が 1.0 m、機器 B までの距離が 2.0 m であり、評価点 b は、機器 A までの距離が 2.0 m、機器 B までの距離が 1.0 m である。これらの値を上のに代入し、評価時間 t を 500 時間として計算すると、評価点 a の実効線量は、機器 A の寄与が $49.9 \mu\text{Sv}$ 、機器 B の寄与が $9.2 \mu\text{Sv}$ となり、合算すると $59.1 \mu\text{Sv}$ となる。また、評価点 b の実効線量は、機器 A の寄与が $12.5 \mu\text{Sv}$ 、機器 B の寄与が $37.0 \mu\text{Sv}$ となり、合算した値は $49.5 \mu\text{Sv}$ となる。

よって、実効線量が最大となる地点は評価点 a であり、その実効線量は 3 月間で $59.1 \mu\text{Sv}$ となる。

イ：放射線を放出する同位元素の数量等を定める件 第 4 条より管理区域の設定に関わる実効線量は 3 月間で 1.3 mSv が定められている。

ウ：人が常時立ち入る場所の実効線量を求める問題である。本問の場合、管理区域内の計算であるので、コンクリート壁の実効線量透過率は考慮されない。それぞれの機器からの実効線量は、機器 A の ^{137}Cs (100 GBq) については、

$$D_{^{137}\text{Cs}} = (7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 100 \times 10^3 [\text{MBq}] \times (1/L_{w1})^2 [\text{m}^{-2}] \times t [\text{h}]) \times 2.0 \times 10^{-5} (\text{容器の実効線量透過率}) \\ = 15.6 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}] \times (1/L_{w1})^2 [\text{m}^{-2}] \times t [\text{h}]$$

また、機器 B の ^{241}Am (20 GBq) については、

$$D_{^{241}\text{Am}} = (5.8 \times 10^{-3} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 20 \times 10^3 [\text{MBq}] \times (1/L_{w2})^2 [\text{m}^{-2}] \times t [\text{h}]) \times 4.9 \times 10^{-2} (\text{容器の実効線量透過率}) \\ = 56.8 \times 10^{-1} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}] \times (1/L_{w2})^2 [\text{m}^{-2}] \times t [\text{h}]$$

ここで、 L_{w1} 、 L_{w2} は評価点 e までの距離、 t は評価時間を表す。機器 A、機器 B から評価点 e までの距離 (L_{w1} 、 L_{w2}) はいずれも 0.5 m、評価時間 t は 40 時間であるので、機器 A の寄与は $25.0 \mu\text{Sv}$ 、機器 B の寄与は $909 \mu\text{Sv}$ となり、合算した実効線量は $934 \mu\text{Sv}$ となる。

エ：放射線を放出する同位元素の数量等を定める件第 10 条より、人が常時立ち入る場所における遮蔽物に関わる線量限度として、1 週間につき 1 mSv が定められている。

II B-5 C-3 O-7 K-3 キ-2 ク-3

注) 本問は、外部被ばくに関係する 1 cm 線量当量率の測定方法に関する問題である。

B、C：本問の施設の場合、 1 cm 線量当量率の測定の対象となるのは γ 線だけであり、 γ 線の測定が可能なサーベイメータとしては NaI(Tl) シンチレーション検出器、電離箱が挙げられる。可搬型の Ge 半導体検出器も市販されているが、管理区域境界の線量率測定に使用されることは少ないであろう。また、問題文の後半部分で、エネルギー補償に関する記述があることから NaI(Tl) シンチレーション検出器が解答に含まれることがわかる。

NaI(Tl) シンチレーション検出器及び電離箱の主な特徴は、次のとおりである。

NaI(Tl) シンチレーション検出器：低い線量率が測定できる。入射 γ 線のエネルギーに感度が依存する (エネルギー依存性の補償が必要となる (エネルギー補償))。

電離箱：感度のエネルギー依存性が小さい。高い線量率まで測定できる。

よって、B が電離箱で、C が NaI(Tl) シンチレーション検出器となる。

オ、カ： ^{137}Cs 線源及び ^{241}Am 線源から放出される主たる γ 線のエネルギーは、

^{137}Cs ： ^{137}Ba の励起核からの γ 線 661.66 keV

^{241}Am ： ^{237}Np の励起核からの γ 線 59.54 keV

である。

キ：NaI(Tl) シンチレータには、放射線が入射した際の発光効率に入射放射線のエネルギー依存性があ

る。一般的に、100 keV 以下で発光効率が最大になる。このため、 ^{241}Am 線源からの γ 線に対する発光効率は、 ^{137}Cs 線源からの γ 線より高くなる。この効率の違いにより、指示値が数倍程度高くなる（問 11 の解説掲載の図 1「様々なサーベイメータのエネルギー特性」を参照のこと）。

ク：設問 I で、ウを計算した際の機器 B の寄与による 40 時間あたりの実効線量の値が $909 \mu\text{Sv}$ であったので、クは $22.7 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ と求められる。

Ⅲ D-6 E-4 F-2 G-1 H-6 I-10 ケ-2 コ-1 サ-4

注) 汚染検査であるので、表面を測定する。

D, E：サーベイメータの検出器として、 β , γ 線の検出には GM 計数管、 α 線の検出には ZnS(Ag) シンチレーション検出器が使用される。 ^{137}Cs は β , γ 線を放出するので、GM 計数管を利用する。一方、 ^{241}Am の α 線の検出には ZnS(Ag) シンチレーション検出器を利用する。

F, G：直接測定法は線源を直接測定する方法であり、線源の破損による汚染が起こっていたとしても判別は難しい。線源の表面をろ紙等で拭き、そのろ紙を測ることにより、線源の表面の汚染を測る方法をスミア法という。スミア法は間接測定法である。 α 線源に対して、スミア法を適用できない場合（部分）がある。それは、 α 線源の表面は極めて破損しやすいため、スミアろ紙でのふき取りにより破損するおそれがあるためである。

ケ～サ：本問では、JIS Z 4504 の「放射線表面汚染の測定法」内の計算に使用する推奨値が問われているが、放射線取扱主任者としてこれらの値を記憶しておくべきかは疑問である（しかし、記憶していなくても本問の場合、正答は得られる。スミアろ紙を片面から測定するので、線源効率 ϵ_s は 0.5 以下になる（後方散乱は無視する）。次に、 α 線、 β 線の透過の違いを考える）。この JIS Z 4504 内の表 A.2 より、 ϵ_s の値として、 β 粒子の最大エネルギーが 0.4 MeV 以上では 0.5、 α 粒子では 0.25 が推奨されている。

与えられた数値を用いて、表面密度を計算すると、

$$A = (490 - 10) / (0.4 \times 0.1 \times 100 \times 0.25) = 480 [1 \text{ 分間あたり壊変/cm}^2] = 480 / 60 = 8.0 [\text{Bq/cm}^2]$$

となる。

物 理 学

物理学のうち放射線に関する課目

第 61 回（令和元年）

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 β^+ 壊変により、原子核から陽電子が放出される。
- B EC 壊変により、原子核から特性 X 線が放出される。
- C 内部転換により、原子核からニュートリノが放出される。
- D 自発核分裂により、原子核から中性子が放出される。

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

〔解答〕

3

- 注) A： β^+ 壊変は、陽子過剰核が陽子 \Rightarrow 中性子変換を行いながら、安定核方向へと変化する壊変形式である。この時、陽電子（電子の反物質）と電子ニュートリノが生成する。
- B：EC 壊変は β^+ 壊変と同様に、陽子過剰核が陽子 \Rightarrow 中性子変換を行いながら、安定核方向へと変化する壊変形式である。この時、原子核近傍にある内殻電子を電子ニュートリノに変換する。ニュートリノはクーロン力による原子核への束縛を受けないため、変換された電子が存在していた準位は空位となり、より外殻に存在する電子が内殻に遷移する際に、準位間エネルギーを特性 X 線として電磁波の形態で放出する。特性 X 線の放出源は原子核ではなく、軌道電子（殻）である。
- C：内部転換は、 γ 線放出が禁止される特別な励起状態において起こるもので、原子核内の余剰エネルギーを軌道電子に移行し、電子線の形態で原子外へエネルギー放出するものを指す。内部転換自体は、核内の余剰エネルギーの単純放出であるため、ニュートリノ放出は伴わない。
- D：自発核分裂は、主には質量数の大きい超ウラン元素等において自発的に発生する原子核形状変化で、これにより、原子核は 2 個または稀に 3 個に分裂する。分裂した原子核片は核分裂生成物（Fission Product）と呼ばれ、大抵の場合、安定核に比べて非常に中性子過剰な状態にあるため、中性子放出過程や β^- 壊変等を経由しながら安定核へ向かって変化してゆく。この過程で励起核が γ 壊変して γ 線を放出する。なお、中性子照射等により誘起され発生する核分裂は誘導核分裂と呼ばれる。

問 2 次の過程によって放出される電子が連続スペクトルを示すものの組合せはどれか。なお、選択肢 C～E については単一エネルギーの光子による過程であるとする。

- A 内部転換
- B オージェ効果
- C 光電効果
- D コンプトン効果

E 電子対生成

- 1) AとB 2) AとC 3) BとD 4) CとE 5) DとE

〔解答〕

5

- 注) A：内部転換は、原子核内の余剰エネルギーを軌道電子に移行し、電子線の形態で原子外へエネルギー放出するものである。この際の放出エネルギー源は原子核の準位間エネルギーによるものであるため、放出されるエネルギーは離散的である。任意の軌道電子の原子核による束縛エネルギーは決まっているため、放出される電子の運動エネルギーは線スペクトルとなる。
- B：オージェ効果は、軌道電子殻の余剰エネルギーを軌道内の任意の電子に移行し、電子線の形態で原子外へエネルギー放出するものである。この際の放出エネルギー源は電子軌道の準位間エネルギーによるものであるため、内部転換と同様に、放出される電子の運動エネルギーは線スペクトルとなる。
- C：光電効果は、光子が軌道電子にエネルギーを完全に与え、そのエネルギーにより軌道電子が運動エネルギーを持った自由電子として放出される過程を指す。入射する光子のエネルギーが単一である場合、放出電子の運動エネルギーは、光子のエネルギーから対象電子の原子核による束縛エネルギーを差し引いたものとなるため線スペクトルとなる。
- D：コンプトン散乱は、光子が保有するエネルギーの一部を吸収物質中の電子に移行し、光子自身の進行方向を変える現象である。この際、光子の進行方向の変化度合い(散乱角)は、電子に移行したエネルギー量に応じて変化し、散乱された電子は反跳電子と呼ばれる。光子の散乱角分布は、クライン・仁科の式によって表現される通り連続的であるため、反跳電子の運動エネルギーも連続スペクトルとなる。
- E：電子対生成は、高エネルギー光子(エネルギー 1.022 MeV 以上)が保有するエネルギーを電子-陽電子対を変換する過程である。この反応は、通常は電子に比べて非常に重い原子核近傍で発生する。稀に軌道電子近傍でも発生することもあり、これは三電子対生成と呼ばれる。この際、光子の保有するエネルギーは、電子対の質量エネルギーと電子対及び原子核等の運動エネルギーとに分配されることになる。電子対の質量エネルギーは一意の値(1.022 MeV)であるが、運動エネルギーの分配は毎回の電子対生成反応で異なり、得られるエネルギー分布は連続スペクトルとなる。

問3 KX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 電子軌道のK殻に空孔が生じたときに発生する。
 B KX線の放出に続いてLX線が放出されることがある。
 C KX線の放出とK殻オージェ電子の放出は競合過程である。
 D 同じ元素では、KX線のエネルギーはLX線のエネルギーより高い。

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

〔解答〕

5

- 注) A：KX線は、最内殻電子軌道であるK殻に空位が生じた場合に、外殻軌道から電子が遷移する際の準位間エネルギーが電磁波形態となったものを指す。
- B：電子の遷移元としては第2内殻のL殻が候補となりやすく、この遷移によりL殻に空位が生じることとなるため、更に外殻から電子が遷移する場合にはLX線が放出されることもある。
- C：K殻への電子遷移時の準位間エネルギーは、電磁波として放出されることもあれば、軌道電子殻を通じてより外殻側の軌道電子の電離エネルギーとして消費されオージェ電子を生成することもある。
- D：同一原子の場合、内殻の方が外殻に比べて強く原子核に束縛されており、準位間エネルギー差も内

殻に係るものの方が大きいため、LX 線に比べて KX 線の方が高エネルギーとなる。

問 4 気体の W 値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 荷電粒子が気体中で 1 対の電子-イオン対を生成するのに必要な平均エネルギーである。
 - B 気体の電離エネルギーの $\frac{1}{2}$ 程度の値である。
 - C 荷電粒子の入射エネルギーによらずほぼ一定の値である。
 - D 半導体検出器における ϵ 値よりも 1 桁程度大きい。
- 1) ACD のみ 2) AB のみ 3) AC のみ 4) BD のみ 5) BCD のみ

〔解答〕

1

- 注) A : W 値とは、気体に対する入射放射線の生成イオン対あたりの平均消費エネルギー量を指す。この消費エネルギーには、非電離過程 (例えば励起過程) も含むため、常に電離エネルギーよりも大きくなる。
- B : 気体の電離エネルギーは電子軌道により異なり、最もゆるく束縛されている電子殻の電離エネルギーは代表的な検出ガスの場合概ね 10~30 eV 程度である。一方、これらのガスの W 値は 25~40 eV 程度であり、必ずしも 1/2 程度になるわけではない。
- C : W 値は、原理的に考えれば、ガスの種類、放射線の種類及びエネルギーに依存するはずであるが、実際の W 値は様々な放射線に対して近い値を示す。
- D : ϵ 値とは半導体内における入射放射線の電子正孔対あたりの平均消費エネルギー量を指す。その値は、真性 Si で約 3.7 eV、Ge で約 3.0 eV と気体検出器における W 値と比べて一桁ほど小さい。

問 5 次の文章の , に入る数値として、適切な組合せは次のうちどれか。

運動エネルギーが等しい重荷電粒子に対する物質の衝突阻止能は、おおよそ、重荷電粒子の質量の

乗に比例し、電荷の 乗に比例する。

- | | A | B |
|----|----|----|
| 1) | 2 | 1 |
| 2) | 1 | 2 |
| 3) | 1 | 1 |
| 4) | -1 | 1 |
| 5) | 2 | -1 |

〔解答〕

2

注) *文献によれば、重荷電粒子の衝突阻止能 S_{col} は、以下の式により示される。

$$S_{col} = \frac{z^2 e^4}{4\pi \epsilon_0^2 m v^2} n Z \left\{ \ln \frac{2 m v^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right\}$$

- z 重荷電粒子の電荷
- e 電気素量
- m 電子の質量
- v 重荷電粒子の速度
- n 1 cm^3 中の原子数

Z	物質の原子番号
ϵ_0	真空における誘電率
I	物質の平均励起ポテンシャル
β	v/c

荷電粒子の質量を M とすると、

$$S_{\text{col}} = \frac{dE}{dx} \propto \frac{z^2}{v^2} \propto \frac{z^2 M}{E}$$

と表すことができる。

よって、重荷電粒子の衝突阻止能は、重荷電粒子の質量 M に比例し、重荷電粒子の電荷 z の2乗に比例する。

*8版増補 2020放射線取扱の基礎、日本アイソトープ協会、物理40ページ(2020)

問6 ^{137}Cs 線源からの γ 線が物質に入射してコンプトン効果を起こした場合、次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A コンプトン効果は光子の波動性を示す現象である。
 B 散乱光子のエネルギーは331 keVを超えない。
 C γ 線の入射方向から 180° 方向に散乱される光子のエネルギーは約184 keVである。
 D 反跳電子のエネルギーは480 keVを超えない。

- 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: コンプトン散乱は、光子が保有するエネルギーの一部を吸収物質中の電子に移行し、進行方向を変える現象であるため、光子の粒子性を示す現象とも言える。

B: コンプトン散乱時における散乱光子のエネルギー $h\nu'$ は、入射光子のエネルギー $h\nu$ と散乱核 θ によって以下のように記述される。

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0c^2} \cdot (1 - \cos\theta)}$$

この時、散乱光子のエネルギーは角度 θ により変化し、 $\theta = 0^\circ$ の時に最大値を取り、その値は入射光子のエネルギーと同じとなる。

C: 180° 方向に散乱された散乱光子のエネルギーは、上式より約184 keVとなる。

$$h\nu' = \frac{662}{1 + \frac{662}{511} \cdot (1 - \cos(180^\circ))} = \frac{662}{1 + \frac{662 \times 2}{511}} = 184.3 [\text{keV}]$$

D: 反跳電子の最大エネルギーは、光子が 180° 方向に散乱された場合の入射光子エネルギーと散乱光子エネルギーとのエネルギー差となる。これは以下の通り、477.7 keVとなり480 keVを超えることはない。

$$E_{\text{MAX}} = h\nu - h\nu' = 662 - 184.3 = 477.7 [\text{keV}]$$

問 7 γ 線に対する鉄の質量減弱係数が $0.077 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ のとき, この γ 線に対する鉄の線減弱係数 $[\text{cm}^{-1}]$ として最も近い値は, 次のうちどれか。ただし, 鉄の密度を $7.9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ とする。

- 1) 0.0097 2) 0.077 3) 0.097 4) 0.61 5) 0.87

〔解答〕

4

注) 線減弱係数は, 質量減弱係数に密度を掛けることにより求めることができ, 最も近い値は 0.61 である。

$$0.077[\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}] \times 7.9[\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}] = 0.6083[\text{cm}^{-1}]$$

問 8 速中性子と元素 A~D のそれぞれの原子核との弾性衝突において, 反跳核の最大エネルギーが, 高い順に並んでいるものは, 次のうちどれか。

- A ウラン
B 酸素
C 水素
D 鉛

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

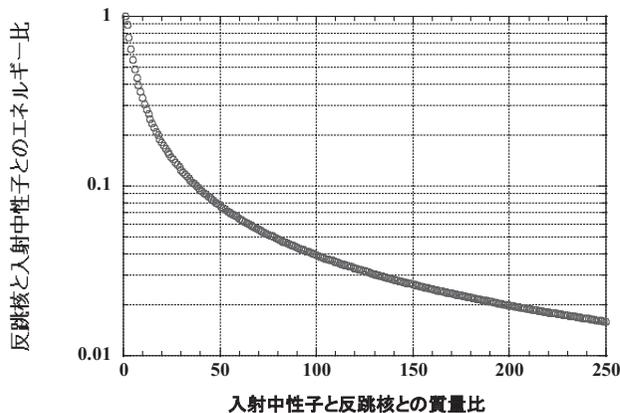
〔解答〕

3

注) 速中性子と原子核の弾性散乱において, 反跳核が最大のエネルギーを持つのは正面衝突の場合である。この問題を古典的な 1 次元 2 体剛体球衝突問題に近似して考えた場合, 運動量保存則及びエネルギー保存則より, 衝突後の反跳核の運動エネルギー E_{rc} は入射中性子の初期エネルギー E_0 と入射中性子と反跳核との質量比 n により以下のように表現できる。(補足参照)

$$E_{rc} = E_0 \times \frac{4 \cdot n}{(1+n)^2}$$

この時, 入射中性子と反跳核の質量比とエネルギー比とをグラフに表すと以下のようになる。



図に示すように、質量比とエネルギー比の関係は右肩下がりの単純減少関係にあるため、質量数の軽い順に並べると反跳核の最大エネルギー順となることがわかる。

自然存在核の質量数の軽い順番は、水素、酸素、鉛、ウランである。

(補足) 1次元2体剛体球衝突における反跳質点の運動エネルギーについて

1次元の軸上を正方向に初速度 v_1 で動く質点(質量 m_1) が、同軸上で停止している質点(質量 m_2) に衝突する場合を考える。衝突後の各質点の速度を v'_1 、 v'_2 とおくと、エネルギー保存則及び運動量保存則から以下の式が立てられる。

$$\frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot v'^2_1 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v'^2_2$$

$$m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$$

ここで、補助定数として m_1 と m_2 の質量比 n を導入すると、質点 m_1 の初速度と衝突後速度は以下のように書ける。

$$\frac{v'_1}{v_1} = \frac{1-n}{1+n}$$

これを最初のエネルギー保存の式に代入すると、以下のように書ける。

$$\frac{1}{2}m_2 \cdot v'^2_2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 - \frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 \cdot \left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2$$

この式を整理すると、以下の通りとなる。

$$\frac{1}{2}m_2 \cdot v'^2_2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 \cdot \frac{4 \cdot n}{(1+n)^2}$$

ここで、

$$E_{\text{re}} = \frac{1}{2}m_2 \cdot v'^2_2 \quad \text{および} \quad E_0 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2$$

であるから、

$$E_{\text{re}} = E_0 \times \frac{4 \cdot n}{(1+n)^2}$$

が成り立つ。

問9 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 放射能は単位時間あたりに放出される放射線の数である。
 - B 吸収線量はすべての電離放射線に用いられる。
 - 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]

5

注) A: 放射能は単位時間あたりに壊変する原子核数で定義され、Bq (ベクレル: 壊変数/秒) が単位として用いられる。

B: 吸収線量は、物体が電離放射線から付与されたエネルギー量で定義され、Gy (グレイ: J/kg) が単位として用いられる。

C: 照射線量は、電磁波放射線 (X 線, γ 線) を乾燥空気に照射したときに発生する電離量を空気重量で除した値で定義され、C(クーロン)/kg が単位として用いられる。

D: カーマは、非荷電の電離放射線 (電磁波放射線や中性子線) が微小な体積の照射対象との相互作用において生成した一次荷電粒子により、生成された荷電粒子群の初期運動エネルギーの総和を、その微小体積の質量で除した値で定義され、Gy が単位として用いられる。

問 10 計数時間を 3 倍にすると、計数率の標準偏差はおおよそ何倍になるか。次のうち、最も近い値を選べ。ただし、線源強度の減衰は無視できるものとする。

- 1) 0.33 2) 0.58 3) 0.71 4) 1.3 5) 1.7

[解答]

2

注) ポアソン分布 (通常の放射線計測により得られる計数分布はこれにあたる) の標準偏差は、分散と平均が等しいという統計上の特徴から、平均の平方根により求めることが出来る。この時、計数率を r 、元の計数時間を T とすると、計数率の標準偏差 σ は以下の通りとなる。

$$\sigma = \frac{\sqrt{\gamma \cdot T}}{T} = \sqrt{\frac{\gamma}{T}}$$

これより、計数時間を 3 倍にした場合の計数率の標準偏差 σ_3 は、以下の通りとなる。

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{\gamma}{3 \cdot T}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{T}} = 0.577 \times \sqrt{\frac{\gamma}{T}}$$

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 正の電荷を持つ原子核は原子の中心にあり、正電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子によって構成されている。両者の質量を比較すると、 A 。陽子 1 個と中性子 1 個は、核力によって強く結合して重水素原子核を形成する。この質量は、陽子の質量と中性子の質量の和よりも B 、その差、2.2 MeV は結合エネルギーと呼ばれる。原子核の安定度は、結合エネルギーを核子数で除した核子当たりの結合エネルギーの値で比較される。質量数 20 以上では C の核子当たりの結合エネルギーが最大となり、最も安定である。

ここで、重水素原子核 2 個から、 ^3He 原子核 1 個と D 1 個が生成する核融合反応を考えてみる。 ^3He 原子核の核子当たりの結合エネルギーは 2.57 MeV/核子であるので、この核融合反応によって放出されるエネルギーは、反応当たり E MeV となる。

<A の解答群>

- 1) 陽子の方が大きい 2) 中性子の方が大きい 3) 同じである

<B の解答群>

- 1) 大きく 2) 小さく

<C の解答群>

- 1) Ar 2) Fe 3) Mo 4) Xe 5) Au

<D の解答群>

- 1) 電子 2) 陽電子 3) 陽子 4) 中性子 5) 反陽子

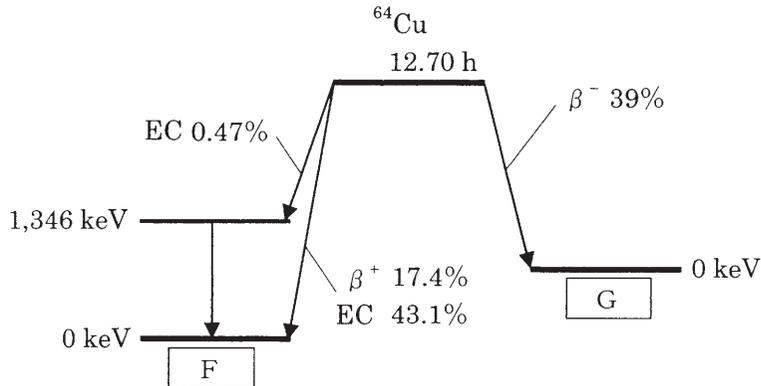
<E の解答群>

- 1) 3.3 2) 4.8 3) 6.6 4) 8.4 5) 10.3

II 下図は ^{64}Cu の壊変図式である。 ^{64}Cu は 2 種類の β 壊変 (β^+ および β^-) を起こして、 F および G に変化する。また、電子捕獲 (EC) も起こる。これらの壊変割合 (分岐比) から F の

方が多く生成することがわかる。

この図から、 ^{64}Cu の壊変当たりの γ 線の放出割合は %であることがわかるが、それ以外に β^+ 壊変に伴う消滅放射線の放出割合が壊変当たり %である。ただし、内部転換は起きないものとし、陽電子による消滅放射線は3本生成することはないものとする。特性X線あるいはオージェ電子が放出される原因となる内殻電子軌道の空孔を生成する電子捕獲(EC)の壊変当たりの割合は %である。



<F, Gの解答群>

- 1) ^{63}Ni 2) ^{64}Ni 3) ^{63}Cu 4) ^{64}Zn 5) ^{64}Ga

<H~Jの解答群>

- 1) 0.47 2) 4.1 3) 17.4 4) 17.9 5) 34.8
6) 39.0 7) 43.1 8) 43.6 9) 56.4 10) 60.5

[解答]

I A-2 B-2 C-2 D-4 E-1

- 注) A: 陽子と中性子の静止質量はそれぞれ 938.27 MeV と 939.57 MeV であり、中性子の方が僅かに重い。
 B: 複数核子により構成される原子核の場合、陽子・中性子が単独で存在する場合に比べて質量の総和が小さくなる。その質量差分は質量欠損と呼ばれ、核子同士の結合エネルギーにも相当する。
 C: 質量欠損分のエネルギーを核子数で除した値は、その原子核を構成した場合の平均的な核子同士の結合の強さを表しており、質量数 50 近辺で最大値を取る。選択肢の原子の安定同位核の質量数はそれぞれ Ar=38, 40, Fe=54, 56, 57, 58, Mo=92, 94, 95, 96, 97, 98, 100, Xe=124, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 134, Au=197 である。
 D: 重水素 2 個の核融合反応を考えると、反応前の核子の総数は陽子 2 個、中性子 2 個である。一方、注目する核融合反応の生成物のうち ^3He の核子の総数は陽子 2 個、中性子 1 個である。核融合反応により、核子の総数は変化しないため、回答欄に入る粒子は中性子 1 個となる。
 E: 注目する核融合反応の反応前の質量欠損の合計は、 $2.2 \text{ MeV} \times 2 \text{ 個} = 4.4 \text{ MeV}$ である。一方、反応後の質量欠損は ^3He 原子核に係るもののみとなるので、 $2.57 \text{ MeV} \times 3 \text{ 核子} = 7.71 \text{ MeV}$ である。反応により、より軽くてよい状態となるので、反応前のエネルギーのうち $(-4.4 \text{ MeV}) - (-7.71 \text{ MeV}) = 3.31 \text{ MeV}$ が過剰な状態となり、核融合反応により解放される。

II F-2 G-4 H-1 I-5 J-8

注) F : β^- 壊変は、中性子過剰核が中性子 \Rightarrow 陽子変換を行いながら、安定核方向へと変化する壊変形式である。この時、電子と反電子ニュートリノ（電子ニュートリノの反物質）を生成する。この際、核子数つまり質量数は変化せず、陽子数つまり原子番号が一つ増加する。一方、 β^+ 壊変及び EC は、陽子過剰核が陽子 \Rightarrow 中性子変換を伴う壊変形式なので、質量数は変化せず、原子番号が一つ減少する。

問題図から、陽子 \Rightarrow 中性子変換の割合が多い（ $0.47+17.4+43.1=60.97\%$ ）ため、質量数 64、原子番号 28（銅の原子番号は 29）の ^{64}Ni が正答となる。

G : 前問より、当欄は ^{64}Cu の中性子 \Rightarrow 陽子変換により生成される原子核となる。このため、質量数 64、原子番号 30 の ^{64}Zn が正答となる。

H : γ 壊変は、原子核の余剰エネルギーの単純放出であるが、問題図における準位間遷移は、 ^{64}Ni の 1346 keV 準位から基底準位への遷移のみしか記述されていない。 ^{64}Cu から ^{64}Ni の 1346 keV 準位への壊変割合は 0.47% であり、1346 keV 準位から基底準位への遷移に対する競合過程が記載されていないため、 ^{64}Cu の全壊変数に対する γ 線の放出割合は、 ^{64}Cu から ^{64}Ni の 1346 keV 準位への壊変割合と同値の 0.47% となる。

I : β^+ 壊変に伴い陽電子が生成されるが、この陽電子は物質中においてクーロン相互作用で運動エネルギーを失いながら物質中を進行し、そのうち物質中の電子と電子対消滅を起こす。この時、電子と陽電子の質量エネルギーは光子の形に変換され放出される。この時、運動量保存則により 2 本の光子（消滅放射線：511 keV）が生成され、真反対方向に放出される。陽電子の生成確率は壊変当たり 17.4% であるため、壊変当たりの消滅放射線の生成割合は $17.4\% \times 2 \text{本} = 34.8\%$ となる。

J : EC の起きる割合は、 ^{64}Ni の 1346 keV 準位への遷移確率 0.47% と ^{64}Ni の基底準位への遷移確率 43.1% の和である 43.57% である。

化 学

化学のうち放射線に関する課目

第61回（令和元年）

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 ある線源の放射能は、線源の製造日からの経過日数が150日のときに120 kBq、同200日のときに30 kBqであった。製造日の放射能[MBq]として、最も近い値は次のうちどれか。

- 1) 5.5 2) 7.7 3) 9.9 4) 22 5) 44

〔解答〕

2

注) ある期間中にX半減期経過してYの割合で減衰したとすると

$$X = \log_{1/2} Y \quad \text{変形して} \quad X = -\log_2 Y \quad (1)$$

が成り立つ。

この線源は、150日後に120 kBq、200日後に30 kBqの放射能の変化を起こすとき、50日後に放射能が $30/120=1/4$ になっているので、式(1)に $Y=1/4$ を代入し計算すると

$$X = -\log_2(1/4) = \log_2 4 = 2$$

半減期T(日)の線源がD(日)後にX半減期経過したとき、

$$T = D/X \quad (2)$$

が成り立つことから、

この線源は50日で2半減期経過しているので、式(2)に $D=50$ 、 $X=2$ を代入し計算すると、半減期は $50 \div 2 = 25$ (日)

となる。

ここで半減期T(日)の線源について製造日の放射能を A_0 (MBq)、t日後の放射能をA(MBq)とすると、

$$A = A_0 \times 0.5^{t/T} \quad \text{変形して} \quad A_0 = A / (0.5^{t/T}) \quad (3)$$

の関係が成り立つことから、式(3)に $A=120/1000$ 、 $T=25$ 、 $t=150$ を代入すると、

$$A_0 = 120/1000 / (0.5^{150/25}) = 7.68 \div 7.7 \text{ (MBq)}$$

となる。

問2 β^- 壊変に続いて γ 線を放出する核種として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

A ^{32}P

B ^{60}Co

C ^{90}Y

D ^{131}I

E ^{192}Ir

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

〔解答〕

4

- 注) A : ^{32}P は, β^- 壊変のみ行い, 最大エネルギー 1.71 MeV の β 線 を放出する。
 B : ^{60}Co は, β^- 壊変により一時的に励起状態の ^{60}Ni になり, その後極めて短い時間の間に 2 回のガンマ崩壊をする。その際に, 1.173 MeV と 1.333 MeV の γ 線 を放出する。
 C : ^{90}Y は, β^- 壊変のみ行い, 最大エネルギー 2.280 MeV の β 線 を放出する。
 D : ^{131}I は, β^- 壊変に続き, 0.365 MeV (放出割合 82%) その他数種類のエネルギーの γ 線 を放出する。
 E : ^{192}Ir は, 99.9% の崩壊比率で β^- 壊変 (残りはわずかに EC) を行い, その後 0.317 MeV (放出割合 83%) その他数種類のエネルギーの γ 線 を放出する。

問 3 0.69 MBq の ^{40}K の質量 [g] として最も近い値は, 次のうちどれか。ただし, ^{40}K の半減期は 4.0×10^{16} s, アボガドロ定数は $6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ とする。

- 1) 0.65 2) 1.3 3) 2.7 4) 4.8 5) 6.5

〔解答〕

3

- 注) ある放射性核種の質量を m (g), 質量数を M , 半減期を T (s), 放射能を A (Bq) とすると,

$$A = \ln 2 / T \cdot m / M \cdot 6.0 \times 10^{23}$$
 変形して $m = T / \ln 2 \cdot M \cdot A \cdot 1 / 6.0 \times 10^{23}$ (1)
 が成り立つことから, 式(1)に $M=40$, $T=4.0 \times 10^{16}$, $A=0.69 \times 10^6$, $\ln 2 = \log_e 2 \doteq 0.69$ を代入すると,
 $m = 4.0 \times 10^{16} / 0.69 \cdot 40 \cdot 0.69 \times 10^6 \cdot 1 / 6.0 \times 10^{23} = 16 / 6 = 2.66 \dots \doteq 2.7$ (g)
 となる。

問 4 ウラン系列に含まれる同位体として, 正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A ^{208}Pb
 B ^{210}Po
 C ^{222}Rn
 D ^{234}U

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

〔解答〕

4

- 注) ウラン系列とは, ^{238}U に始まり α 壊変 8 回, β^- 壊変 6 回のあと, 鉛の安定同位体 ^{206}Pb で終わる壊変系列のことである。この系列の核種の質量数はすべて 4 割れば 2 余るので $4n+2$ 系列ともいわれる。
 A ^{208}Pb は, トリウム系列の最後の安定同位体である。

問 5 親核種-娘核種の関係のうち放射平衡が成り立つものの組合せは, 次のうちどれか。

- A ^{90}Sr — ^{90}Y
 B ^{99}Mo — $^{99\text{m}}\text{Tc}$
 C ^{137}Cs — $^{137\text{m}}\text{Ba}$
 D ^{239}Pu — ^{235}U

- 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) 放射平衡とは, 親核種→娘核種→孫娘核種 (孫核種), の壊変において親核種の半減期が娘核種の半減

期より長いとき、十分な時間が経過したあとには両者の壊変率がほぼ一定となり、両者の原子数の比もほぼ一定となる状態のことである。娘核種の半減期に比して親核種の半減期が10倍以上長い場合は過渡平衡が成り立ち、1000倍以上の場合は永続平衡となる。

A: ^{90}Sr の半減期は28.79年、 ^{90}Y の半減期は64時間であるから放射平衡(永続平衡)が成り立つ。

B: ^{99}Mo の半減期は65.94時間、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の半減期は6.015時間であるから放射平衡(過渡平衡)が成り立つ。

C: ^{137}Cs の半減期は約30年、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ の半減期は2.552分であるから放射平衡(永続平衡)が成り立つ。

D: ^{239}Pu の半減期は約2.4万年、 ^{235}U の半減期は約7億年であるから娘核種の半減期が親核種の半減期より長い。よって放射平衡は成り立たない。

問6 陽電子を放出しない核種として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

A ^3H

B ^{11}C

C ^{18}F

D ^{22}Na

E ^{63}Ni

- 1) AとD 2) AとE 3) BとC 4) BとE 5) CとD

[解答]

2

注) A: ^3H は、最大エネルギー約18.6 keVの β 線(電子)のみを放出する。

B: ^{11}C は、最大エネルギー約960 keVの β^+ 線(陽電子)を放出する。

C: ^{18}F は、最大エネルギー約634 keVの β^+ 線(陽電子)を放出する。

D: ^{22}Na は、最大エネルギー約546 keVの β^+ 線(陽電子)を放出する。

E: ^{63}Ni は、最大エネルギー約66.9 keVの β 線(電子)のみを放出する。

問7 次の核種について、半減期が短い順に正しく並べられているものはどれか。

1) $^{85}\text{Kr} < ^{60}\text{Co} < ^{192}\text{Ir} < ^{137}\text{Cs}$

2) $^{85}\text{Kr} < ^{192}\text{Ir} < ^{137}\text{Cs} < ^{241}\text{Am}$

3) $^{192}\text{Ir} < ^{137}\text{Cs} < ^{60}\text{Co} < ^{241}\text{Am}$

4) $^{192}\text{Ir} < ^{60}\text{Co} < ^{241}\text{Am} < ^{85}\text{Kr}$

5) $^{60}\text{Co} < ^{85}\text{Kr} < ^{137}\text{Cs} < ^{241}\text{Am}$

[解答]

5

注) 各核種の半減期は以下のとおり、

^{192}Ir 73.8 日

^{60}Co 5.3 年

^{85}Kr 10.7 年

^{137}Cs 30.1 年

^{241}Am 432.2 年

問8 汚染除去に用いる溶媒(除染剤)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 水は無極性溶媒である。

- B 中性洗剤は界面活性剤を含む。
 C キレート形成剤は金属元素の放射性核種に対して用いる。
 D EDTA-2 ナトリウム水溶液は強アルカリ性を示す。

- 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 : 極性とは原子間の電気陰性度の差により生じる電荷の偏りのこと。無極性溶媒とは極性を持たない分子からなる溶媒のこと。水やエタノールは極性溶媒であり、ベンゼンや四塩化炭素などは無極性溶媒である。
 B : 界面活性剤は、分子中に親水基と疎水基の両方を有し、溶媒に溶かすと、その溶液の表面張力を著しく低下させる。石鹼や合成洗剤などの洗浄剤や、乳化剤、起泡剤などの主成分は界面活性剤である。
 C : 金属イオンの状態で溶媒に溶けている放射性核種を抽出する際には、キレート剤が用いられることが多い。キレート剤が金属イオンに結合すると錯体が形成されて疎水性となる。その結果、錯体となった金属元素を有機相に分離することが可能となる。
 D : EDTA (エチレンジアミン四酢酸, Ethylenediaminetetraactic acid) は、アルカリ金属をのぞく多くの金属イオンと安定な錯塩を形成するキレート剤である。生体内には二価金属イオンを必要とする酵素が多く存在するが、EDTA は酵素反応を抑制するので、遺伝子工学や分子生物学などの実験には欠かせない試薬である。これらの実験分野では、EDTA に NaOH などの塩基を加え、pH 8.0 付近の EDTA 水溶液 (EDTA-2 ナトリウム水溶液など) を使用する。

問 9 放射性同位元素装備機器に用いられる密封線源及び検出器に関する次の組合せのうち、正しいものはどれか。

機器の種類	線源	検出器
A 厚さ計	^{85}Kr	プラスチックシンチレーション検出器
B 密度計	^{90}Sr	^3He 比例計数管
C 水分計	^{252}Cf	GM 計数管
D 石油硫黄計	^{241}Am	電離箱

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

〔解答〕

3

- 注) A : 厚さ計は、鉄鋼板の圧延工程やプラスチック薄膜の品質管理などにおいて使用されている。線源として、 γ 線厚さ計の場合は ^{137}Cs や ^{241}Am が、 β 線厚さ計の場合は ^{85}Kr や ^{90}Sr 、 ^{147}Pm 、 ^{204}Tl が用いられる。 γ 線や β 線の検出には、プラスチックシンチレータや電離箱が用いられている。
 B : 密度計は、 γ 線が液体を透過する際の減衰が液体の密度により変わることを利用している。NaI(Tl) シンチレーション検出器を用いた透過型密度計と電離箱を用いた差動型密度計などがある。線源は ^{60}Co や ^{137}Cs が用いられることが多い。 ^{90}Sr は β -崩壊核種である。 ^3He 比例計数管は熱中性子を検出するための比例計数管である。
 C : 水分計では、高速中性子が水素原子と衝突すると減速されて熱中性子になる現象を利用している。線源は $^{241}\text{Am-Be}$ や ^{252}Cf といった中性子源が用いられ、検出器は ^3He 比例計数管や BF_3 比例計数管などが使用される。通常の GM 計数管では中性子の計測はできない。
 D : 石油硫黄計は硫黄分析計ともいわれ、石油製品中の硫黄の分析管理に用いられている。線源には、

α 壊変やEC(電子捕獲)壊変する核種 ^{241}Am , ^{55}Fe , ^{244}Cm , ^{109}Cd などの密封線源が用いられる。 ^{241}Am のNp-LX線や低エネルギー γ 線は石油や重油中の硫黄に著しく吸収される。この透過率を測定すれば、石油中の硫黄の重量比を求めることができる。近年ではRIを使用しない小型の低エネルギーX線管タイプも普及している。計測には電離箱などが用いられる。

問10 水の放射線分解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 放射線照射によって、水分子の励起状態が生じる。
- B 水分子が電離すると、水和電子が生じる。
- C 生成されるヒドロキシルラジカル($\cdot\text{OH}$)は強い還元剤である。
- D 水の分解生成物が水溶液中で再結合して過酸化水素が生成する。

- 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:放射線照射により、水分子の励起や電離が起これ、 $\cdot\text{OH}$ (OHラジカル, ヒドロキシルラジカル)や $\cdot\text{H}$ (Hラジカル)などのフリーラジカル(遊離基)が発生する。
- B:水分子が電離すると、電子(e^-)は徐々に運動エネルギーを失い熱電子となるが、そのまわりにいくつかの水分子の正電荷側が配向して水和電子(e_{aq}^-)とよばれる分子集合状態となる。
- C:ヒドロキシルラジカルは反応性に富む強力な酸化剤である。一方、Hラジカルは還元剤となる。
- D:水の分解生成物であるラジカルは互いに反応しやすいので再結合をする場合があり、 $\cdot\text{OH}$ と $\cdot\text{OH}$ が結合すると過酸化水素(H_2O_2)が生じる。

問11 天然放射性核種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。

地球誕生時から現在も存在している天然放射性同位体には、放射性壊変を繰り返して、最終的には鉛の安定同位体になる壊変系列が3つある。最初の長半減期の同位体から最後の安定同位体に至るまでに放射性壊変を繰り返すが、□Aの回数は6, 7, 8回と系列によって異なり、最も多い8回を示すのは□B系列である。これらの系列に属する核種から放出される放射線、いわゆる、自然放射線は公衆の外部被ばくや内部被ばくに大きく寄与している。とりわけ、寄与が大きいものに□Cとその子孫核種がある。これらの核種は、呼吸に伴い気管や気管支などの呼吸器に入り、内部被ばくをもたらしている。一方で、地球誕生時に存在した核種のほとんどが現在では消滅してしまった壊変系列にネプツニウム系列がある。消滅した理由は、この壊変系列の核種の□Dが地球年齢に比べて非常に短いためである。

上記のような壊変系列をつくらない天然放射性核種もあり、体内にも存在して内部被ばくの主な要因になっている核種として例えば□Eがある。□Eは、89.1%の分岐比で□Fして安定同位体 ^{40}Ca になり、一方、10.8%の分岐比で□Gし、安定同位体 ^{40}Ar になり、この際、1.46 MeVの□Hを放出する。

地球には高いエネルギーの宇宙線が絶えず降り注いでいる。宇宙線の一種である銀河宇宙線の最も多い成分は陽子で、次に多い成分は□Iである。これら一次宇宙線が大気成分の□Jにより、あるいは二次的に生成する中性子と大気成分との核反応などにより、 ^3H , ^{14}C などの誘導放射性核種が絶えず生成している。

<Aの解答群>

- 1) α 壊変 2) β^- 壊変 3) β^+ 壊変 4) EC壊変

<B, C の解答群>

- 1) アクチニウム 2) ウラン 3) キュリウム 4) トリウム
5) トリチウム 6) プルトニウム 7) ユーロピウム 8) ラドン

<D の解答群>

- 1) 壊変定数 2) 経過時間 3) 半減期

<E の解答群>

- 1) ^{40}K 2) ^{42}K 3) ^{42}Ca

<F, G の解答群>

- 1) α 壊変 2) β^- 壊変 3) β^+ 壊変 4) EC 壊変

<H の解答群>

- 1) α 線 2) β 線 3) γ 線 4) δ 線

<I の解答群>

- 1) 電子 2) α 粒子 3) 中性子

<J の解答群>

- 1) 核崩壊 2) 核融合 3) 核破砕

[解答]

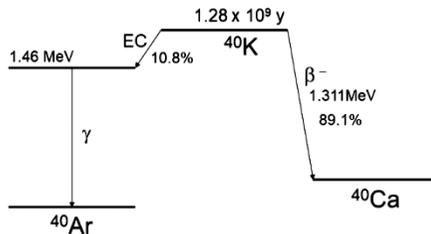
A-1 B-2 C-8 D-3 E-1 F-2 G-4 H-3 I-2
J-3

注) A~D: 地球誕生時から存在する天然の一次放射性核種として、4つの壊変系列がある。それらのうち、ネプツニウム系列は現存しない。以下に各系列の出発の核種と最終安定核種、質量数の特徴、系列中で起こる α 崩壊、 β^- 崩壊の合計回数の一覧を示す。自然放射線による年間被ばく線量 2.4 mSv (一人当たり、世界平均)のうち、最も多いのがラドンガスの吸引による内部被ばく(平均 1.26 mSv)である。この場合のラドンガスとは、トリウム系列中の ^{220}Rn (通称トロン)やウラン系列中の ^{222}Rn のことを指す。アクチニウム系列においても ^{219}Rn が生じるが、 ^{235}U の含有量はウラン元素の0.7%に過ぎず、さらに半減期も非常に短い(3.92秒)ため、 ^{219}Rn による自然放射線被ばくは通常無視される。

	出発	最後	質量数	α 崩壊	β^- 崩壊
トリウム系列	$^{232}_{90}\text{Th}$	$^{208}_{82}\text{Pb}$	4n	6回	4回
ネプツニウム系列	$^{237}_{93}\text{Np}$	$^{209}_{83}\text{Pb}$, $^{205}_{81}\text{Tl}$	4n+1	7or8回	4回
ウラン系列	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{206}_{82}\text{Pb}$	4n+2	8回	6回
アクチニウム系列	$^{235}_{92}\text{U}$	$^{207}_{82}\text{Pb}$	4n+3	7回	4回

*ネプツニウム系列最後の安定核種は、以前の教科書等では ^{209}Bi とされていたが、2013年に ^{209}Bi が α 崩壊により ^{205}Tl となることが報告されている。

E~H: 地球上に存在する K の約 0.012% は ^{40}K である。その壊変図式を以下に示す。



I, J：銀河宇宙線（超新星誕生時にまき散らされたものの中にある高エネルギー粒子群）の約87%は陽子，12%は α 粒子（Heイオン）である。宇宙線（一次宇宙線）が大気に入射すると，大気中の原子核が衝突により分解され（核破砕），陽子や中性子等の核子が原子核から弾き出さる。その結果，LiやBのような軽い元素が生成される。

生 物 学

生物学のうち放射線に関する課目

第 61 回（令和元年）

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 DNA の構成成分として、次のうち正しいものの組合せはどれか。

- A アデニン
- B グルコース
- C アルギニン
- 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

注) DNA は、糖（デオキシリボース）とリン酸と塩基から構成される。塩基には、アデニン、グアニン、シトシン、チミンの 4 種類が含まれる。

問 2 γ 線の全身急性被ばくによる死亡を引き起こすとされる線量（しきい線量）が大きい順に並んでいるものは、次のうちどれか。

- 1) 骨髄死 > 消化管死 > 中枢神経死
- 2) 中枢神経死 > 消化管死 > 骨髄死
- 3) 消化管死 > 中枢神経死 > 骨髄死
- 4) 中枢神経死 > 骨髄死 > 消化管死
- 5) 骨髄死 > 中枢神経死 > 消化管死

〔解答〕

2

注) ICRP 2007 年勧告によると、 γ 線の全身急性被ばくによる死亡を引き起こす線量の範囲は以下の通りである。

- 骨髄損傷 3～5 Gy
- 胃腸管損傷 5～15 Gy
- 神経系の損傷 >15 Gy

問 3 A～D の組織・臓器について、組織加重係数（ICRP 2007 年勧告）が大きい順に並んでいるものは、次のうちどれか。

- A 乳房
- B 肝臓

C 皮膚

D 生殖腺

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

〔解答〕

3

注) 組織加重係数（ICRP 2007 年勧告）は、以下の通りである。

乳房	0.12
肝臓	0.04
皮膚	0.01
生殖腺	0.08

問4 放射線被ばくによる確率的影響の原因として、最も適切なものの組合せは次のうちどれか。

- A 体細胞の染色体異常
- B 生殖細胞の遺伝子突然変異
- C 体細胞の萎縮
- D 生殖細胞の枯渇

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

〔解答〕

1

注) 確率的影響は、発がんや遺伝的影響であり、体細胞の染色体異常は発がんを生殖細胞の遺伝子突然変異は遺伝的影響を引き起こす可能性がある。体細胞の萎縮や生殖細胞の枯渇は確定的影響の原因である。

問5 自然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 自然放射線による年間の被ばく線量の世界平均は、UNSCEAR 2008 年報告では 2.4 mSv である。
- B 世界平均では、外部被ばくの方が内部被ばくよりも年間の被ばく線量への寄与が大きい。
- C 世界には、屋外の空間平均線量が世界平均よりも 10 倍以上高い地域がある。
- D 日本の国民 1 人当たりの年間被ばく線量の平均では、自然放射線による寄与は医療診断による寄与よりも 3 倍程度大きい。

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

〔解答〕

2

注) B：UNSCEAR 2008 年報告では、年間被ばく線量の世界平均値 2.4 mSv のうち内部被ばくが 1.55 mSv であり、内部被ばくの方が寄与が大きい。

C：インドのケララやイランのラムサルなどでは、屋外の平均空間線量が世界平均よりも 10 倍以上高い。

D：日本人の年間被ばく線量は、自然放射線による被ばく線量 2.1 mSv に対し、医療診断による被ばく線量が 3.87 mSv とされ、医療診断による寄与の方が大きい（原子力安全研究協会「生活環境放射線」2011 年）。

問 6 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 乾燥した酵素の X 線による不活性化は、主に直接作用による。
 D X 線による細胞致死効果においては、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

注) 放射線と DNA 分子が相互作用する直接作用と、水との相互作用により生じたラジカルが DNA 損傷を起こす間接作用とがある。

- A : 有酸素下では、放射線によって活性酸素が生成されるため、間接作用は酸素の影響を受けやすい。
 B : ラジカルスカベンジャーによる抑制を受けやすいのは、間接作用である。
 C : 間接作用は水に作用するため、乾燥した物質では直接作用が主となる。
 D : X 線のような低 LET 放射線では、間接作用の寄与が大きい。

問 7 放射線による DNA 損傷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 放射線によってのみ生じる特異的な損傷はない。
 B DNA 2 本鎖切断が最も多く生成する。
 C 細胞死に関しては、DNA 1 本鎖切断の寄与が最も大きい。
 D 塩基損傷は発がんの原因となる。
- 1) A と C 2) A と D 3) B と C 4) B と D 5) C と D

〔解答〕

2

注) A : 化学物質や環境変異源でも、放射線と同様の DNA 損傷を起こす。

B : 2 本鎖切断が生成する頻度は 1 本鎖切断よりも低い。

D : DNA を傷つける原因は、放射線以外にも、食物中の発がん物質、たばこ、環境中の化学物質、活性酸素等があり、一日 1 細胞当たり、1 万から 100 万箇所/頻度で DNA は損傷を受けているといわれている。

X 線 1 mGy 当たりの損傷は 1 細胞につき塩基損傷 2.5 箇所、1 本鎖切断 1 箇所、2 本鎖切断 0.04 箇所といわれている。

(Morgan, 米国放射線防護委員会 (NCRP) 年次総会 (第 44 回, 2009))

問 8 放射線による細胞死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 細胞死を細胞周期の観点から分類すると、分裂死と増殖死に分けられる。
 B ネクローシスは、細胞死を形態的な観点から分類したものの 1 つである。
 C アポトーシスは、DNA 損傷をもつ細胞を臓器・組織から排除する仕組みの 1 つである。
 D 生殖細胞の細胞死は確定的影響の原因となる。
- 1) ABC のみ 2) ABD のみ 3) ACD のみ 4) BCD のみ 5) ABCD すべて

〔解答〕

4

注) A : 細胞死は、分裂死 (増殖死) と間期死に分けられる。分裂死と増殖死は同義である。

分裂死は活発に細胞分裂している細胞が、照射を受けてから数回かの細胞分裂をした後に、無限増

殖能を失って起こる死であり、間期死は高線量の照射を受けることで分裂することなく死に至る現象である。

問9 放射線で誘発される染色体異常のうち、安定型異常に分類されるものとして、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 環状染色体
- B 逆位
- C 二動原体染色体
- D 転座

- 1) AとB 2) AとC 3) BとC 4) BとD 5) CとD

〔解答〕

4

注) 染色体の安定型異常は逆位染色体や相互転座のことで、細胞分裂による影響を受けないため、長い年数を経ても頻度が低下することはない。

染色体の不安定型異常は環状染色体や二動原体染色体のことで、これらの異常を持つ細胞は、細胞分裂に伴って細胞死する。

問10 細胞のX線に対する致死感受性の修飾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 細胞の致死感受性は、細胞周期の進行に伴って変化する。
- B 細胞への致死効果は、ラジカルスカベンジャーによって増強される。
- C 細胞の致死感受性は、細胞の存在する組織の酸素分圧に依存する。
- D 線量率の低下によって、細胞は、一般に、致死感受性が高くなる。

- 1) AとB 2) AとC 3) BとC 4) BとD 5) CとD

〔解答〕

2

注) A：細胞周期はM期（分裂期）→G₁期→S期（DNA合成期）→G₂期に分類され、M期が最も致死感受性が高い。

B：ラジカルと反応しやすい化学物質（ラジカルスカベンジャー）は、照射によってラジカルが生じた場合に、ラジカルを補足するので、生体高分子の損傷が軽減される。これを保護効果といい、このような物質を防護剤という。

C：放射線の生体への作用は酸素の存在下で増強される現象があり、酸素効果という。

D：高線量率で短時間に照射したときに得られる生物効果に比べて、線量率を下げて時間をかけて照射すると生物効果は減弱し、致死感受性は低くなる。これを線量率効果という。

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 造血組織である骨髄の中では、すべての血液細胞の元となる造血幹細胞から、骨髄系の幹細胞とリンパ系の幹細胞が生じる。これらの2系統の幹細胞は、分化して、赤血球、血小板、及び□A（顆粒球、単球、リンパ球等）となり、末梢血に供給されていく。

骨髄中の未成熟・未分化な血球は放射線感受性が高く、被ばくすると末梢血への成熟血球の供給が低下するので血球数は減少していくが、その時期や減り方は血球の種類によって異なる。リンパ球は、病原体等に対する抗体産生能や感染細胞等に対する細胞傷害性を持ち、放射線に最も感受性が高く、被ばく後24時間以内に急減し、回復も遅い。顆粒球の大部分を占める□Bは、異物貪食能が高

く、被ばく後1~2日で脾臓等貯蔵プールからの放出により一過性の増加を示すこともあるが、その後、リンパ球より数日遅れて減少する。血栓形成能と止血作用のある は、顆粒球よりやや遅れて減少する。肺等で酸素と炭酸ガスの交換を行う は、寿命が約 日程度と長い。ため、骨髄からの供給低下の影響が現れにくく、被ばく後の減少時期は最も遅く、程度も小さい。

<Aの解答群>

- 1) 巨核球 2) 組織球 3) 脂肪球 4) 白血球

<B~Dの解答群>

- 1) 好中球 2) 好酸球 3) 好塩基球 4) 形質細胞
5) 赤血球 6) 単球 7) 血小板 8) 樹状細胞

<アの解答群>

- 1) 30 2) 60 3) 120 4) 240

II γ 線やX線に急性全身被ばくすると、その線量に応じて骨髄等造血組織の損傷と末梢血球の減少に伴う様々な症状が現れ、重篤な場合には死亡する。リンパ球の減少は 機能の低下を、 の減少は病原体の貪食能の低下をそれぞれ招き、感染症や敗血症等を引き起こす。また、 の減少は出血と、それに伴う赤血球の減少により貧血を来す。骨髄移植など適切な医療処置を行わない場合、被ばくした人の半数がこのような造血組織の障害で60日以内に死亡する線量は Gy程度とされ、これはヒトの半致死線量に相当する。

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 が蓄積して発がん(白血病)に繋がる可能性があり、原爆被爆生存者でも被爆の数年後から白血病が認められている。 は、個々の臓器・組織における放射線発がん及び生殖腺においては遺伝性(的)影響の起こりやすさを反映している。白血病の主要な発生源である骨髄(赤色)の は、ICRP 2007年勧告では最も大きい とされている。

<E, Gの解答群>

- 1) 運動 2) 消化 3) 呼吸
4) 免疫 5) 核濃縮 6) 小核
7) 変性膨化 8) 突然変異 9) 線質係数
10) 放射線加重係数 11) 線量・線量率効果係数 12) 組織加重係数

<イ, ウの解答群>

- 1) 0.04 2) 0.08 3) 0.12 4) 0.20
5) 0.5~0.8 6) 1~2 7) 3~5 8) 7~9

[解答]

- I A-4 B-1 C-7 D-5 ア-3
II E-4 F-8 G-12 イ-7 ウ-3

*編者注) : 問11のI, IIは、問題と解答がそのまま“放射線の生物影響”の解説になっているため、解答を導くための説明はありません。