

第 60 回

# 第 2 種放射線取扱主任者試験 問 題 と 解 答 例

第 60 回 平成 30 年 8 月 24 日実施

## 第 60 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 60 回（平成 30 年） ..... | 1 |
|-----------------------|---|

##### 管理技術 I

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 60 回（平成 30 年） ..... | 15 |
|-----------------------|----|

##### 管理技術 II

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 60 回（平成 30 年） ..... | 34 |
|-----------------------|----|

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 60 回 (平成 30 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、1 から 5 までの 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 放射性同位元素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 1 条 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第 2 条第 2 項の放射性同位元素は、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を含む。）で、放射線を放出する同位元素の数量及び濃度がその [ B ] ごとに [ C ] 定める数量及び濃度を超えるものとする。』

| [ A ]    | [ B ] | [ C ]     |
|----------|-------|-----------|
| 1) 機器に装備 | 種類    | 原子力規制委員会が |
| 2) 機器に装備 | 区分    | 政令で       |
| 3) 機器に装備 | 区分    | 原子力規制委員会が |
| 4) 密封    | 区分    | 原子力規制委員会が |
| 5) 密封    | 種類    | 政令で       |

〔解答〕

1

注) 令 1 条 (放射性同位元素)

問 2 密封された放射性同位元素のみの使用の許可を受けようとする者が、原子力規制委員会に提出する申請書に記載し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、次のうちどれか。

- A 使用の場所
- B 使用の目的及び方法
- C 使用施設の位置、構造及び設備
- D 貯蔵施設の位置、構造、設備及び貯蔵能力

- 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3条(使用の許可)第2項第3号, 4号, 5号, 6号

- A: 正 法第3条第2項第4号
- B: 正 法第3条第2項第3号
- C: 正 法第3条第2項第5号
- D: 正 法第3条第2項第6号

問3 放射線測定器の校正検査を使用の目的として, 100メガベクレルの密封されたコバルト60を装備した照射装置のみ1台を使用している者が, 事業所内において使用の場所を追加し, 同じ使用の目的で100メガベクレルの密封されたコバルト60を装備した照射装置1台をあらたに使用することとなった。ただし, 当該照射装置の種類, 型式及び性能は, 同一のものとする。この場合, 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, コバルト60の下限数量は, 100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) 届出使用に係る変更の届出をしなければならない。
- 2) 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。
- 3) 許可使用に係る変更の許可の申請をしなければならない。
- 4) 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。
- 5) 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。

〔解答〕

1

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, 第2号, 法第10条(使用施設等の変更)第2項, 第6項, 令第9条(許可使用に係る使用の場所の一時的変更の届出)第1項, 則第9条の2(変更の許可を要しない軽微な変更)

- 1: 正 法第3条の2第1項, 第2項。

100メガベクレルの密封されたコバルト60を装備した照射装置を使用する事業所は, コバルト60の下限数量100キロベクレルの1,000倍を超えないことから届出使用者となる。

- 2: 誤 そのような規定はない。
- 3: 誤 法第3条第1項, 法第10条第2項には該当しない。
- 4: 誤 法第10条第6項, 令第9条第1項の各号には該当しない。
- 5: 誤 法第10条第2項, 則第9条の2の各号には該当しない。

問4 許可又は届出の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の組合せはどれか。

- A 1個当たりの数量が10テラベクレルの密封された放射性同位元素のみを業として賃貸しようとする者は, 賃貸事業所ごとに, 原子力規制委員会の許可を受けなければならない。
- B 表示付特定認証機器のみを業として販売しようとする者は, 販売所ごとに, 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。
- C 表示付認証機器のみを認証条件に従って運搬しようとする者は, 工場又は事業所ごとに, かつ, 認証番号が同じ表示付認証機器ごとに, 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。
- D 1個当たりの数量が下限数量の1,000倍を超える密封された放射性同位元素であって機器に装備されていないもののみを使用しようとする者は, 工場又は事業所ごとに, 原子力規制委員会の許可を受けなければならない。

- 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）法第 3 条（使用の許可）第 1 項，令第 3 条（使用の許可の申請）第 1 項，第 2 項，法第 4 条（販売及び賃貸の業の届出）第 1 項

A：誤 法第 4 条第 1 項

賃貸業は届出でよい。

B：誤 法第 4 条第 1 項

表示付特定認証機器は除外される。

C：誤 そのような規定はない。

D：正 法第 3 条第 1 項，令第 3 条第 1 項，第 2 項

問 5 表示付認証機器の使用をする者の届出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 3 条の 3 第 3 条第 1 項ただし書及び前条第 1 項ただし書に規定する表示付認証機器の使用をする者（以下「表示付認証機器使用者」という。）は，政令で定めるところにより，当該表示付認証機器の  に，次の事項を原子力規制委員会に届け出なければならない。』

(1) 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

(2) 表示付認証機器の第 12 条の 6 に規定する認証番号及び台数

(3) 使用の

2 前項の届出をした者（以下「表示付認証機器届出使用者」という。）は，同項各号に掲げる事項を変更したときは，原子力規制委員会規則で定めるところにより，，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) 使用を開始する前

場所

変更の日から 30 日以内に

2) 使用を開始する前

目的及び方法

遅滞なく

3) 使用の開始の日から 30 日以内

目的及び方法

変更の日から 30 日以内に

4) 使用の開始の日から 30 日以内

場所

遅滞なく

5) 使用の開始の日から 30 日以内

場所

変更の日から 30 日以内に

〔解答〕

3

注）法第 3 条の 3（表示付認証機器を使用する者の届出）第 1 項，第 2 項

問 6 次のうち，密封された放射性同位元素を業として賃貸しようとする者（表示付特定認証機器のみを業として賃貸する者を除く。）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 放射性同位元素の種類

C 賃貸事業所の所在地

D 放射性同位元素の 1 個当たりの数量

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

〔解答〕

1

注）法第4条（販売及び賃貸の業の届出）第1項

- A：正 法第4条第1項1号
- B：正 法第4条第1項2号
- C：正 法第4条第1項3号
- D：誤 そのような規定はない。

問7 貯蔵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定められているものの組合せはどれか。

- A 貯蔵室は、その主要構造部等を耐火構造とし、その開口部には、建築基準法施行令第112条第1項に規定する特定防火設備に該当する防火戸を設けること。
- B 貯蔵施設のとびら、ふた等外部に通ずる部分には、さく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ること。
- C 貯蔵箱の表面における1センチメートル線量当量率は、2ミリシーベルト毎時以下とすること。
- D 貯蔵箱は、耐火性の構造とすること。

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

〔解答〕

3

注）則第14条の9（貯蔵施設の基準）第2号、第5号

- A：正 則第14条の9第2号イ
- B：誤 則第14条の9第5号（鍵その他の閉鎖のための設備又は器具を設ける）
- C：誤 そのような規定はない。
- D：正 則第14条の9第2号ロ

問8 許可の条件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8条 第3条第1項本文又は第4条の2第1項の許可には、条件を付することができる。

- 2 前項の条件は、 を防止するため必要な  に限り、かつ、許可を受ける者に不当な  を課することとならないものでなければならない。』

| A | B | C |
|---|---|---|
|---|---|---|

- |          |          |    |
|----------|----------|----|
| 1) 被ばく等  | 最小限度のもの  | 義務 |
| 2) 放射線障害 | 最小限度のもの  | 義務 |
| 3) 被ばく等  | 最小限度のもの  | 制限 |
| 4) 被ばく等  | 措置を講ずる場合 | 制限 |
| 5) 放射線障害 | 措置を講ずる場合 | 義務 |

〔解答〕

2

注）法第8条（許可の条件）第2項

問9 次のうち、変更の許可を要しない軽微な変更に応当する事項として、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 貯蔵施設の貯蔵能力の減少に伴う貯蔵容器に係る構造の変更
- B 使用の目的の変更

- C 放射性同位元素の数量の減少  
 D 管理区域の拡大及び当該拡大に伴う管理区域の境界に設けるさく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の位置の変更（工事を伴わないものに限る。）  
 1) ABC のみ    2) AB のみ    3) AD のみ    4) CD のみ    5) BCD のみ

〔解答〕

4

- 注）法第 10 条（使用施設等の変更）第 2 項，則 9 条の 2（変更の許可を要しない軽微な変更）第 2 号，第 5 号，文部科学省告示第 81 号 平成 17 年 6 月 1 日  
 A：誤 軽微な変更該当しない（則第 9 条の 2）  
 B：誤 軽微な変更該当しない（則第 9 条の 2）。変更の許可が必要。  
 C：正 法第 10 条第 2 項，則第 9 条の 2 第 1 項第 2 号  
 D：正 法第 10 条第 2 項，則第 9 条の 2 第 1 項第 5 号，告示第 81 号

問 10 次のうち，許可使用に係る使用の場所の一時的変更届に添えなければならない書類として，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 使用の場所及びその付近の状況を説明した書面  
 B 使用の場所を中心とし，管理区域及び標識を付ける箇所を示し，かつ，縮尺及び方位を付けた使用の場所及びその付近の平面図  
 C 一時的に使用する場所の所有者の許可を証明する書面  
 D 法人にあっては，登記事項証明書  
 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 10 条（使用施設等の変更）第 6 項，則第 11 条（許可使用に係る使用場所の一時的変更の届出）第 2 項第 1 号，第 2 号  
 A：正 則第 11 条第 2 項第 1 号  
 B：正 則第 11 条第 2 項第 2 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 11 次のうち，特定設計認証を受けることができる放射性同位元素装備機器として，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。なお，これらの機器はその表面から 10 センチメートル離れた位置における 1 センチメートル線量当量率が 1 マイクロシーベルト毎時以下であるものとする。

- A 煙感知器  
 B レーダー受信部切替放電管  
 C 熱粒子化式センサー  
 D ベータ線吸収式粉じん計  
 1) ABC のみ    2) AB のみ    3) AD のみ    4) CD のみ    5) BCD のみ

〔解答〕

1

- 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 2 項，令第 12 条（特定設計認証）第 1 項第 1 号，第 2 号，第 3 号，文部科学省告示第 93 号 平成 17 年 7 月 4 日

- A：正 令第12条第1項第1号  
 B：正 令第12条第1項第2号  
 C：正 令第12条第1項第3号，告示第93号  
 D：誤 そのような規定はない。

問12 次のうち，表示付認証機器を販売しようとする者が当該表示付認証機器に添付しなければならない文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 設計認証に関係する事項を掲載した原子力規制委員会のホームページアドレス  
 B 当該設計認証に係る使用，保管及び運搬に関する条件  
 C 当該機器について法の適用がある旨  
 D 認証番号

- 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) 法第12条の6，則第14条の6(添付文書)第1号，第3号

- A：正 則第14条の6第3号  
 B：正 法第12条の6  
 C：正 則第14条の6第1号  
 D：正 法第12条の6

問13 使用施設等の基準適合命令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14条

- 2 原子力規制委員会は，貯蔵施設の位置，構造又は設備が前条第2項の技術上の基準に適合していないと認めるときは，その技術上の基準に適合させるため， に対し，貯蔵施設の  ，  を命ずることができる。』

- | <input type="text" value="A"/> | <input type="text" value="B"/> | <input type="text" value="C"/> |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1) 届出販売業者                      | 廃止                             | 修復又は再製                         |
| 2) 届出使用者                       | 移転                             | 修理又は改造                         |
| 3) 届出賃貸業者                      | 点検                             | 改修又は再構築                        |
| 4) 表示付認証機器届出使用者                | 変更                             | 補修又は変造                         |
| 5) 表示付特定認証機器の使用をする者            | 検査                             | 取繕又は改変                         |

〔解答〕

2

注) 法第14条(使用施設等の基準適合命令)第2項

問14 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を移動させて使用をする場合には，使用後直ちに，その放射性同位元素について紛失，漏えい等異常の有無を目視により点検すること。  
 B 正常な使用状態においては，遮蔽壁その他の遮蔽物を用いることなく放射線による被ばくを十分に低くすること。



- C 自動表示装置を設けた室内で放射性同位元素を使用する場合には、非常口等の扉を外部から開閉できるようにするための措置を講ずること。
- D 使用施設又は管理区域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。
- 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 15 条（使用の基準）第 1 項第 2 号、第 3 号、第 11 号

- A：誤 そのような規定はない。目視ではなく放射線測定器を用いて点検する。
- B：誤 則第 15 条第 1 項第 2 号、第 3 号  
正常な使用状態においては、開封または破壊されるおそれのないこと。常に遮蔽壁その他の遮蔽物を用いて放射線の遮蔽を行い、実効線量限度及び等価線量限度を超えないよう、被ばくを低くしなければいけない。
- C：誤 則第 15 条第 1 項第 3 号の 2  
外部から開閉できないようにする措置が求められている。
- D：正 則第 15 条第 1 項第 11 号

問 15 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 貯蔵箱は、周囲の温度の範囲において、破損等のおそれがないこと。
- B 貯蔵箱について、放射性同位元素の保管中これをみだりに持ち運ぶことができないようにするための措置を講ずること。
- C 貯蔵箱には、放射性同位元素の保管中これを保管している旨を表示すること。
- D 貯蔵施設には、その貯蔵能力を超えて放射性同位元素を貯蔵しないこと。
- 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 2 号、第 7 号、則第 17 条（保管の基準）第 1 項第 2 号、第 3 号

- A：誤 則第 14 条の 9 第 2 号ロ  
貯蔵箱は耐火性の構造が求められている。
- B：正 則第 17 条第 1 項第 3 号
- C：誤 貯蔵箱に保管している旨の表示は不要である。
- D：正 則第 17 条第 1 項第 2 号

問 16 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 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はり付け等の措置が講じられていること。
- C 容易に、かつ、安全に取り扱うことができること。
- D 周囲の圧力を 60 キロパスカルとした場合に、放射性同位元素の漏えいがないこと。
- 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号, 第7号, 則第18条の5(A型輸送物に係る技術上の基準)第3号, 第5号

A: 正 則第18条の4第7号

B: 誤 A型輸送物の基準である(則第18条の5第3号)。

C: 正 則第18条の4第1号

D: 誤 A型輸送物の基準である(則第18条の5第5号)。

問17 1個当たりの数量が11.1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のみを固定して取り扱う場所であって、取扱いの方法及び遮蔽壁その他の遮蔽物の位置が一定しているときの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、セシウム137の下限数量は10キロボケレルであり、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。

A 放射線の量の測定は、作業を開始する前に1回行うこと。

B 放射線の量の測定は、作業を開始した後には、6月を超えない期間ごとに1回行うこと。

C 放射線の量の測定の結果については、測定の都度記録すること。

D 放射線の量の測定の結果についての記録は、5年間保存すること。

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) 則第20条(測定)第1項第4号, 第4項第1号

A: 正 則第20条第1項第4号

B: 正 則第20条第1項第4号ロ

C: 正 則第20条第4項第1号

D: 正 則第20条第4項第1号

問18 外部被ばくによる線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。

A 放射線が中性子線である場合、男子にあっては胸部について1センチメートル線量当量を測定すること。

B 放射線が中性子線である場合、女子にあっては腹部について70マイクロメートル線量当量を測定すること。

C 放射線がエックス線又はガンマ線である場合、男子にあっては胸部について1センチメートル線量当量及び70マイクロメートル線量当量を測定すること。

D 放射線測定器を用いて測定すること。ただし、放射線測定器を用いて測定することが著しく困難である場合にあっては、計算によってこれらの値を算出することとする。

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

〔解答〕

3

注) 則第20条(測定)第2項第1号

A: 正 則第20条第2項第1号イ

- B：誤 則第 20 条第 2 項第 1 号イ  
 中性子線については 1 センチメートル線量当量を測定する。  
 C：正 則第 20 条第 2 項第 1 号イ  
 D：正 則第 20 条第 2 項第 1 号ニ

問 19 次のうち、放射線障害予防規程に記載すべき事項として、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 危険時の措置に関すること。  
 B 放射線管理の状況の報告に関すること。  
 C 健康診断に関すること。  
 D 放射線取扱主任者の代理者に関すること。

- 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) 則第 21 条（放射線障害予防規程）第 1 項第 2 号、第 8 号、第 12 号、第 16 号

- A：正 則第 21 条第 1 項第 12 号  
 B：正 則第 21 条第 1 項第 16 号  
 C：正 則第 21 条第 1 項第 8 号  
 D：正 則第 21 条第 1 項第 2 号

問 20 教育及び訓練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 取扱等業務に従事する者であって、管理区域に立ち入らないものに対し、取扱等業務に従事する前の 8 月 1 日に教育及び訓練を実施し、取扱等業務に従事した後は、次年度の 7 月 30 日に教育及び訓練を実施した。  
 B 一時的に管理区域に立ち入る者に対し、あらかじめ、放射線障害が発生することを防止するために必要な事項について、教育及び訓練を実施した。  
 C 放射線施設に立ち入る者に対する教育及び訓練の帳簿に、実施年月日と当該教育及び訓練を受けた者の氏名のみを記載した。  
 D 放射線業務従事者のうち、教育及び訓練の項目又は事項の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た者に対し、管理区域に立ち入った後の教育及び訓練について当該項目又は事項を省略した。

- 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 21 条の 2（教育訓練）第 1 項第 1 号、第 5 号、第 2 項、則第 24 条（記帳）第 1 項

- A：正 則第 21 条の 2 第 1 項第 1 号  
 B：正 則第 21 条の 2 第 1 項第 5 号  
 C：誤 則第 24 条第 1 項第 1 号タ

実施年月日、当該教育及び訓練を受けた者の氏名の他に、項目、各項目の時間数（初めて管理区域に立ち入る前又は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り記載する。）を記載しなければならない。

- D：正 則第 21 条の 2 第 2 項

問 21 放射線業務従事者に対し、初めて管理区域に立ち入る前に行う健康診断の方法としての問診及び検査又は検診のうち、医師が必要と認める場合に限り行うものとして、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 放射線の被ばく歴の有無 (問診)
  - B 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
  - C 皮膚
  - D 眼
- 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 22 条 (健康診断) 第 1 項第 5 号, 第 6 号,

A : 誤 則第 22 条第 1 項第 5 号ロ

被ばく歴を有する者については、作業の場所、内容、期間、線量、放射線障害の有無その他放射線による被ばくの状況について問診を行わなければならない。

B : 誤 則第 22 条第 1 項第 6 号

放射線業務従事者 (一時的に管理区域に立ち入る者を除く。) に対し、初めて管理区域に立ち入る前については健康診断を行わなければならない。

C : 誤 則第 22 条第 1 項第 6 号

放射線業務従事者 (一時的に管理区域に立ち入る者を除く。) に対し、初めて管理区域に立ち入る前については健康診断を行わなければならない。

D : 正 則第 22 条第 1 項第 6 号

問 22 放射線障害を受けた者又は受けたおそれのある者に対する措置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 23 条

- (1) 放射線業務従事者が放射線障害を受け、又は受けたおそれのある場合には、放射線障害又は放射線障害を受けたおそれの程度に応じ、A への立入時間の短縮、B の禁止、放射線に被ばくする C 業務への配置転換等の措置を講じ、必要な D を行うこと。
- (2) 放射線業務従事者以外の者が放射線障害を受け、又は受けたおそれのある場合には、遅滞なく、医師による診断、必要な D 等の適切な措置を講ずること。』

- | <span style="border: 1px solid black; padding: 0 5px;">A</span> | <span style="border: 1px solid black; padding: 0 5px;">B</span> | <span style="border: 1px solid black; padding: 0 5px;">C</span> | <span style="border: 1px solid black; padding: 0 5px;">D</span> |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1) 放射線施設                                                        | 取扱い                                                             | おそれのない                                                          | 保健指導                                                            |
| 2) 管理区域                                                         | 取扱い                                                             | おそれのない                                                          | 保健指導                                                            |
| 3) 管理区域                                                         | 立入り                                                             | おそれの少ない                                                         | 保健指導                                                            |
| 4) 放射線施設                                                        | 立入り                                                             | おそれのない                                                          | 健康診断                                                            |
| 5) 放射線施設                                                        | 立入り                                                             | おそれの少ない                                                         | 健康診断                                                            |

〔解答〕

3

注) 則第 23 条 (放射線障害を受けた者又は受けたおそれのある者に対する措置)

問 23 合併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 26 条の 2

- 4 届出使用者である法人の合併の場合（届出使用者である法人と届出使用者でない法人とが合併する場合において、届出使用者である法人が  ）。又は分割の場合（当該届出に係るすべての  及び放射性汚染物並びに  を一体として承継させる場合に限る。）において、合併後存続する法人若しくは合併により設立された法人又は分割により当該  及び放射性汚染物並びに  を一体として承継した法人は、届出使用者の地位を承継することができる。』

- | <input type="text" value="A"/> | <input type="text" value="B"/> | <input type="text" value="C"/> |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1) 存続するときを除く                   | 放射線施設                          | 貯蔵能力                           |
| 2) 存続するときに限る                   | 放射線施設                          | 貯蔵能力                           |
| 3) 存続するときに限る                   | 放射性同位元素                        | 貯蔵能力                           |
| 4) 存続するときを除く                   | 放射性同位元素                        | 貯蔵施設                           |
| 5) 存続するときに限る                   | 放射線施設                          | 貯蔵施設                           |

〔解答〕

4

注）法第 26 条の 2（合併等）第 4 項

問 24 使用の廃止等の届出及び使用の廃止等に伴う措置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 放射性同位元素のみを使用する許可使用者が、その許可に係る放射性同位元素のすべての使用を廃止したため、選任されていた放射線取扱主任者に廃止措置の監督をさせた。
- B 届出使用者が、その届出に係る放射性同位元素のすべての使用を廃止したため、放射線業務従事者の受けた放射線の量の測定結果の記録を使用の廃止の日から遅滞なく、原子力規制委員会に引き渡した。
- C 届出使用者が、その届出に係る放射性同位元素のすべての使用を廃止したため、使用の廃止の日に、その旨を原子力規制委員会に届け出た。
- D 表示付認証機器届出使用者が、その届出に係る表示付認証機器のすべての使用を廃止したため、使用の廃止の日から遅滞なく、その旨を原子力規制委員会に届け出た。

- 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 27 条（使用の廃止等の届出）第 1 項，則第 25 条（使用の廃止等の届出）第 1 項，則第 26 条（許可の取消し，使用の廃止等に伴う措置）第 1 項第 8 号，則第 26 条の 2（表示付認証機器に係る使用の廃止等の届出等）第 1 項

A：正 則第 26 条第 1 項第 8 号イ

B：誤 則第 26 条第 1 項第 9 号

原子力規制委員会ではなく，原子力規制委員会が指定する機関に引き渡すこと。

C：正 法第 27 条第 1 項，則第 25 条第 1 項

廃止の日から 30 日以内に届け出る。

D：正 法第 27 条第 1 項，則第 26 条の 2 第 1 項

問 25 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 届出使用者は, その届け出た種類の放射性同位元素を輸出することができる。
  - B 届出賃貸業者は, その届け出た種類の放射性同位元素を輸出することができる。
  - C 届出販売業者は, その届け出た種類の放射性同位元素を輸出することができる。
  - D 許可使用者は, その許可証に記載された種類の放射性同位元素を輸出することができる。
- 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) 法第 29 条 (譲渡し, 譲受け等の制限)

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

問 26 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, 放射性同位元素の運搬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にあつては 5 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。
  - B 表示付認証機器届出使用者は, 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 30 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 許可使用者は, 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ったときは, その旨を直ちに, その状況及びそれに対する処置を 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 届出使用者は, 工場又は事業所内の人が居住する区域における線量が, 原子力規制委員会が定める線量限度を超え, 又は超えるおそれがあるときは, その旨を直ちに, その状況及びそれに対する処置を 30 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) A と B    2) A と C    3) B と C    4) B と D    5) C と D

〔解答〕

2

注) 法第 31 条の 2 (原子力規制委員会等への報告), 則第 28 条の 3 (事故等の報告)

- A : 正 法第 31 条の 2, 則第 28 条の 3 第 7 号
- B : 誤 法第 31 条の 2, 則第 28 条の 3 第 1 号  
その状況及びそれに対する処置は「30 日以内」ではなく「10 日以内」である。
- C : 正 法第 31 条の 2, 則第 28 条の 3 第 8 号
- D : 誤 法第 31 条の 2, 則第 28 条の 3 第 6 号  
その状況及びそれに対する処置は「30 日以内」ではなく「10 日以内」である。

問 27 次のうち, 第 2 種放射線取扱主任者免状を有する者を放射線取扱主任者として選任することができる事業者として, 放射線障害防止法上正しいものの組合せはどれか。

- A 表示付認証機器及び密封された放射性同位元素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 10 テラベクレル未満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  
 D 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  
 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のうちから選任する必要がある。

C：正 法第 34 条第 1 項第 2 号

D：正 法第 34 条第 1 項第 3 号

問 28 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、誠実にその  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  又は放射線障害予防規程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、放射線障害の防止に関し、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"/> |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|

- |       |    |    |
|-------|----|----|
| 1) 職務 | 命令 | 意見 |
| 2) 義務 | 指導 | 助言 |
| 3) 職務 | 指導 | 助言 |
| 4) 義務 | 命令 | 助言 |
| 5) 職務 | 指導 | 意見 |

〔解答〕

1

注) 法第 36 条（放射線取扱主任者の義務等）第 1 項、第 2 項、第 3 項

問 29 密封された放射性同位元素のみを研究のために使用している届出使用者において、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遂行することはできないが、放射性同位元素の使用を継続することとした。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 40 日であったので、第 1 種放射線取扱主任者免状を有している者を、放射線取扱主任者の代理者として選任し、選任した日から 10 日後、原子力規制委員会にその旨の届出を行った。  
 B 出張の期間が 10 日であったので、第 2 種放射線取扱主任者免状を有している者を、放射線取扱主任者の代理者として選任したが、原子力規制委員会にその旨の届出は行わなかった。  
 C 出張の期間が 40 日であったので、放射線取扱主任者免状を有していない医師を、放射線取扱主任者の代理者として選任し、選任した日から 10 日後、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 5 日であったので、放射線取扱主任者の代理者の選任は行わなかった。

- 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 34 条 (放射線主任者) 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 : 正 法第 37 条第 1 項, 第 3 項, 則第 33 条第 3 項

B : 正 法第 37 条第 1 項, 第 3 項, 則第 33 条第 3 項

届出使用者なので第 2 種放射線取扱主任者の免状でよい。

C : 誤 法第 34 条第 1 項, 法第 37 条第 2 項

法第 34 条第 1 項の規定は, 放射線取扱主任者の代理者の資格に準用する必要がある。よって, 医師を選任できるのは放射性同位元素を診療のために用いる場合であって, この設問では研究のために使用するため医師では不可となる。

D : 誤 法第 37 条第 1 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。

問 30 等価線量限度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。

ただし, 次の文章中, 「前条第 4 号に規定する期間」は「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」とする。

『第 6 条 規則第 1 条第 11 号に規定する放射線業務従事者の各組織の一定期間内における線量限度は, 次のとおりとする。

(1) 眼の水晶体については, 4 月 1 日を始期とする 1 年間につき 150 ミリシーベルト

(2) 皮膚については, 4 月 1 日を始期とする 1 年間につき  A  ミリシーベルト

(3) 妊娠中である女子の  B  については, 前条第 4 号に規定する期間につき  C  ミリシーベルト』

|        | <input type="text"/> A <input type="text"/> | <input type="text"/> B <input type="text"/> | <input type="text"/> C <input type="text"/> |
|--------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1) 500 |                                             | 腹部表面                                        | 5                                           |
| 2) 200 |                                             | 胸部                                          | 2                                           |
| 3) 300 |                                             | 胸部                                          | 1                                           |
| 4) 300 |                                             | 胸部                                          | 5                                           |
| 5) 500 |                                             | 腹部表面                                        | 2                                           |

〔解答〕

5

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 5 号) 第 6 条 (等価線量限度)



## 管 理 技 術 I

## 第 60 回 (平成 30 年)

問 1 次の I, II の文章の   の部分に入る最も適切な語句, 記号, 数値又は数式を, それぞれの解答群から 1 つだけ選べ。

I 生体を含む全ての物質は, 90 種あまりの原子から成り立っている。原子は中心の原子核とその周りの電子から成る。原子核は, 陽子と中性子からなり, 正の電荷を持つ陽子の数によって原子番号がつけられている。陽子および中性子の質量は, いずれも電子の約 ア 倍で, 原子の質量はほぼ原子核の質量である。また, 陽子の数と中性子の数の和を A という。A が同じ原子を B と呼ぶ。A 16 の C の原子核は同数の陽子と中性子からなり, 安定である。同じ陽子の数に対して異なる数の中性子を持つ原子を D と呼ぶ。

中性子は陽子よりわずかに質量が大きく, 原子核外に存在すると半減期 イ 秒で電子を放出して陽子に壊変する。この壊変が原子核中で起きると, 原子番号が 1 大きくなるが A は変わらない。これを E と呼ぶ。

安定核の場合に比べて中性子数が少ない核ではクーロン力によるポテンシャルエネルギーが高くなるので, 陽電子が放出される壊変が起こりうる。その例としては ウ がある。この核では, 陽電子を放出せずに F を起こす場合がある。この際には G あるいはオージェ電子が放出される。

<アの解答群>

- 1) 100      2) 500      3) 1,000      4) 2,000      5) 5,000

<A~D の解答群>

- 1) 原子数      2) 原子核数      3) 質量数      4) 同素体      5) 同位体  
6) 同重体      7) 同陽子体      8) 同中性子体      9) 炭素      10) 窒素  
11) 酸素      12) フッ素

<イの解答群>

- 1) 3.7      2) 10.7      3) 56      4) 213      5) 615

<E~G の解答群>

- 1)  $\alpha$  壊変      2)  $\beta^-$  壊変      3)  $\beta^+$  壊変      4)  $\gamma$  線      5) EC 壊変  
6) 内部転換      7) 連続 X 線      8) 特性 X 線      9) 制動放射線

<ウの解答群>

- 1)  $^{14}\text{C}$       2)  $^{22}\text{Na}$       3)  $^{32}\text{P}$       4)  $^{33}\text{P}$       5)  $^{60}\text{Co}$

II 原子核の周りの電子の波動関数は, 次の 4 つの量子数で区別される。それらは, 主量子数, H 量子数, I 量子数, スピン量子数で, それらを順に  $n, \ell, m_\ell, m_s$  で表すと, 次のような性質・関係がある。

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\ell = 0 \text{ から } n-1 \text{ までの整数}$$

$$m_\ell = -\ell \text{ から } +\ell \text{ までの整数}$$

$$m_s = -1/2 \text{ または } +1/2$$

半整数のスピ量子数を持つ電子は、J 粒子と呼ばれ、K の排他律によって全く同じ量子数を持つ電子は一つの原子につき一つしか存在できない。その結果、主量子数  $n$  の状態に許容できる電子の数は、最大で エ である。電子の軌道を記述するときには、主量子数が 1 の電子は K 殻電子、3 のときは オ 殻電子と呼ぶ。より詳しく表記するときには、“2s”、“3d”、などと記述される場合がある。このとき、数値は主量子数を示すが、英小文字 s は、 $\ell =$  カ の状態、d は  $\ell =$  キ の状態を示す。K 殻電子の結合エネルギーは、最も基本となる水素原子の場合 13.6 eV であり、この値は原子番号 L 。

分子を形成する化学結合や化学反応を考える際には、一般的に M の軌道に入っている電子が重要となる。

<H~K の解答群>

- |        |          |          |         |
|--------|----------|----------|---------|
| 1) 転位  | 2) 座標    | 3) 磁気    | 4) 方位   |
| 5) 電子  | 6) ボーズ   | 7) ディラック | 8) フェルミ |
| 9) ベーテ | 10) クーロン | 11) パウリ  |         |

<エの解答群>

- |           |              |              |             |
|-----------|--------------|--------------|-------------|
| 1) $4n$   | 2) $n(n-1)$  | 3) $n^2$     | 4) $n(n+1)$ |
| 5) $2n^2$ | 6) $2n(n+1)$ | 7) $4n(n-1)$ |             |

<オの解答群>

- |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 1) L | 2) M | 3) N | 4) O | 5) P |
|------|------|------|------|------|

<カ、キの解答群>

- |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 1) 0 | 2) 1 | 3) 2 | 4) 3 | 5) 4 |
|------|------|------|------|------|

<Lの解答群>

- |              |               |              |
|--------------|---------------|--------------|
| 1) とともに大きくなる | 2) にほとんど依存しない | 3) とともに小さくなる |
|--------------|---------------|--------------|

<Mの解答群>

- |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|
| 1) K 殻 | 2) L 殻 | 3) 最内殻 | 4) 最外殻 |
|--------|--------|--------|--------|

〔解答〕

I    アー 4      Aー 3      Bー 6      Cー 11      Dー 5      イー 5      Eー 2      Fー 5  
       Gー 8      ウー 2

注) ア：陽子、中性子及び電子の質量は、それぞれ、 $1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、 $1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$  及び  $9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$  である。陽子と中性子の質量はほぼ等しく、電子のおよそ 1840 倍である。

C：元素名は原子番号（陽子数）ごとに決まっている。原子番号 8 の元素は酸素である。

D：英語では同位体をアイソトープ (isotope) という。同位体のうち、放射線を出すもの（放射性同位体）がラジオアイソトープ (radioisotope)（日本では RI と略して書くことが多い。）である。なお、分野によっては放射性同位体のことを単にアイソトープという場合もあるが、科学用語の正しい使い方という観点からは適切ではない。

イ：核外の中性子（自由中性子）は不安定で、約 10 分の半減期で陽子に壊変する。

E, F, G：原子番号が一つ異なる同重体の間では、質量数は変化しないが原子番号が変化する  $\beta$  壊変が起こる。3 種類の  $\beta$  壊変があり、1 個の電子を放出して原子番号が一つ増えるのが  $\beta^-$  壊変、1 個の陽電子を放出して原子番号が一つ減るのが  $\beta^+$  壊変、軌道電子を核内に取り込み原子番号が一つ減るのが EC（軌道電子捕獲）壊変である。なお、EC 壊変が起きると、電子軌道に空孔が生じる。内殻に空孔ができている状態は原子にとっては不安定なので、ごく短時間のうちに軌道電子の再配列が起こる。このとき、特性 X 線またはオージェ電子が放出される。

ウ： $^{22}\text{Na} \rightarrow ^{22}\text{Ne} + e^+ + \nu$  ( $e^+$ は陽電子 ( $\beta^+$ 線),  $\nu$ はニュートリノ)。なお、ウの解答群のうち、 $^{22}\text{Na}$  以外はすべて  $\beta^-$ 壊変する核種である。

Ⅱ H - 4      I - 3      J - 8      K - 11      エ - 5      オ - 2      カ - 1      キ - 3  
L - 1      M - 4

注) H：方位量子数は、軌道角運動量量子数または角運動量量子数とよばれることもある。

J：一般に、スピン量子数が半整数 ( $1/2, 3/2, 5/2, \dots$ ) の粒子をフェルミ粒子、整数 ( $0, 1, 2, \dots$ ) の粒子をボーズ粒子という。

エ：パウリの排他律から、四つの量子数 ( $n, l, m_l, m_s$ ) が異なる組み合わせになる総数を求めればよいことがわかる。主量子数が  $n$  のとき、方位量子数  $l$  は  $0$  から  $n-1$  までの整数をとることができ ( $l_{\max} = n-1$  とおく)、また、方位量子数が  $l$  のとき、磁気量子数  $m_l$  は  $-l$  から  $+l$  までの  $2l+1$  個の値をとり得る。よって、三つの量子数 ( $n, l, m_l$ ) の組み合わせの総数  $S$  は、

$$S = \sum_{l=0}^{l_{\max}} (2l+1) = 2 \sum_{l=0}^{l_{\max}} l + \sum_{l=0}^{l_{\max}} 1 = 2 \times \left\{ \frac{1}{2} l_{\max} (l_{\max} + 1) \right\} + (l_{\max} + 1) = (l_{\max} + 1)^2 = n^2$$

となる (等差数列の和の公式  $\sum_{k=0}^n k = \frac{1}{2}n(n+1)$  を利用した)。最後に、スピン量子数は  $-\frac{1}{2}$  と  $+\frac{1}{2}$

の二つをとり得るので、 $S$  を 2 倍した  $2n^2$  が求める数になる。

オ：主量子数が  $1, 2, 3, 4, 5, \dots$  の順に、K, L, M, N, O, ... 殻と名付けられている。

カ：方位量子数が  $0, 1, 2, 3, 4, \dots$  の順に、s, p, d, f, g, ... 状態と名付けられている。

L：原子番号が大きくなればなるほど原子核内の陽子数が増えるため、K 殻電子はより強いクーロン力を受けることになる。このため、原子番号が大きくなると、K 殻電子の結合エネルギーは大きくなる。

M：内殻電子は最外殻電子に覆われている状態なので、化学結合や化学反応に大きくは関与しないことが多い。

問 2 次の I ~ III の文章の  の部分に入る最も適切な語句又は数値を、それぞれの解答群から 1 つだけ選べ。

I 放射線によって起きる細胞の増殖死は、造血組織、リンパ組織、腸、皮膚、精巣、眼の  A など細胞分裂の盛んな細胞再生系組織で顕著であるため、これらの組織を構成している細胞は、一般に放射線感受性がきわめて高いとされている。細胞再生系組織では、構成細胞の起源となる  B が分裂して、自己再生 (複製) を行うとともに分化・成熟して分裂しない  C となる。 C はやがて寿命が尽きて排除されるが、新たに分裂・分化した細胞で補充され、組織の恒常性は維持される。

これに対して、肝臓、腎臓、<sup>すい</sup>膵臓や  D など、通常は細胞分裂を停止しているが、部分切除等で機能障害に陥ると細胞分裂を始めるような組織を細胞休止系組織といい、その構成細胞は通常放射線感受性が低い。

成人では、 E、筋肉、骨など、構成細胞が分裂しない細胞非再生系組織があり、これらの細胞は放射線感受性がきわめて低い。しかし、成長期の子供では、これらの組織の中でも骨などは細胞分裂を継続中であるため、放射線感受性が高い。

<A の解答群>

1) 角膜      2) 結膜      3) 虹彩      4) 毛様体      5) 水晶体      6) 網膜

<B, C の解答群>

- |         |         |          |         |
|---------|---------|----------|---------|
| 1) 幹細胞  | 2) 紡錘細胞 | 3) 線維芽細胞 | 4) 遊走細胞 |
| 5) 間質細胞 | 6) 移行細胞 | 7) 機能細胞  | 8) 支持細胞 |

<D, Eの解答群>

- |                       |       |       |                     |
|-----------------------|-------|-------|---------------------|
| 1) 膀胱 <sup>ぼうこう</sup> | 2) 神経 | 3) 脾臓 | 4) 胸腺               |
| 5) 甲状腺                | 6) 卵巣 | 7) 喉頭 | 8) 毛嚢 <sup>のう</sup> |

Ⅱ 男性の生殖腺である精巣は代表的な再生系組織のひとつであり、精細管内で  の精原細胞が分裂して一次精母細胞となる。次いで、一次精母細胞は、DNA複製を伴う分裂と伴わない分裂の合計2回の分裂で完了する  を行い、染色体数が  となる。このような二次精母細胞を経て精子細胞となり、成熟して精子になる。精原細胞と精母細胞は放射線感受性がきわめて高く、精巣への  Gy 以上の1回の急性被ばくで分裂が一時的に停止し、精子の  が減少するので、一時的不妊となるが、6.0 Gy 以上の1回の急性被ばくではほとんどの精原細胞が死ぬため、永久不妊が起きるとされている。

一方、女性の生殖腺である卵巣での卵子の分化プロセスは精巣とは大きく異なり、胎生期には  の卵原細胞が盛んに分裂して一次卵母細胞にまで分化するが、出生時には分裂・分化を停止して卵胞を形成する(静止期)。その後、一次卵母細胞の  は減少する。思春期(性成熟)になると一次卵母細胞は、定期的に  を行って、二次卵母細胞を経て卵細胞となり、排卵され、受精した後に成熟卵子となる。従って静止期の一次卵母細胞は放射線感受性が低いが、思春期以降の成人女性の卵母細胞は放射線感受性が高く、卵巣への  Gy 以上の1回の急性被ばくで一時的な不妊が、6.0 Gy 以上の1回の急性被ばくで永久不妊がそれぞれ起きるとされている。

<Fの解答群>

- |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|
| 1) 有糸分裂 | 2) 増殖分裂 | 3) 減速分裂 | 4) 減数分裂 |
|---------|---------|---------|---------|

<アの解答群>

- |       |       |       |        |
|-------|-------|-------|--------|
| 1) 2倍 | 2) 同数 | 3) 半数 | 4) 1/4 |
|-------|-------|-------|--------|

<イ、ウの解答群>

- |         |         |         |        |        |
|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1) 0.01 | 2) 0.05 | 3) 0.15 | 4) 0.2 | 5) 0.3 |
| 6) 0.4  | 7) 0.5  | 8) 2.5  |        |        |

<Gの解答群>

- |      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| 1) 数 | 2) 比重 | 3) 容積 | 4) 長さ |
|------|-------|-------|-------|

<Hの解答群>

- |          |      |        |        |
|----------|------|--------|--------|
| 1) 核細胞質比 | 2) 数 | 3) 表面積 | 4) 大きさ |
|----------|------|--------|--------|

Ⅲ 母親の胎内で胎児が被ばくすることを胎内被ばくという。胎児は放射線感受性がきわめて高いが、胎内被ばくで生じる障害の種類は発生段階により異なる。

精子と卵子の合体後、卵管から下りてきた受精卵(胚)が子宮内膜に接着し定着するまでの時期(着床  ;受精後(胎生)8日まで)に被ばくすると、胚の  により産まれてくる子の数が減少する。

着床後、細胞の分裂・分化が進み、臓器・組織ができてくる時期(器官形成期;胎生9日~60日)に被ばくすると、さまざまな奇形(先天異常)が生じることが動物実験で知られているが、原爆で胎内被ばくした胎児の調査では  のみが認められている。

各臓器・組織がさらに細胞数を増やして发育を続ける時期(胎児期;胎生60日~出生まで)に被ばくすると、胎生25週までの被ばくで  が、また胎生40週までの被ばくで发育遅延がそれぞれ起きる可能性があり、原爆で胎内被ばくした胎児の調査で有意に認められている。

胎内被ばくでは放射線防護上、上述したような発生段階にある組織の細胞死が原因で起きる

□ M □ に加えて、胎生期のすべての時期の被ばくで、体細胞や生殖細胞に遺伝子突然変異や染色体異常が生じることにより □ N □ が起きる可能性も考慮すべきである。

□ N □ のうち、胎内被ばくによる発がんについては、英国オックスフォードの小児がんサーベイで、母親の腹部等の □ O □ で受けた胎内被ばくと 15 歳までに発症する小児がん（白血病及び固形がん）の発生率との間には相関が認められているが、これに対する反論も報告されている。また、原爆で胎内被ばくした胎児の発がん及び遺伝性（的）影響についても調査が続けられているが、これまでに統計学的に有意な影響は認められていない。

従って、胎内被ばくによる発がん及び遺伝性（的）影響について統一的な結論は現時点で得られていないが、ICRP 2007 年勧告では、集団全体と成人とを比較した結果、リスクは発がんで集団全体のおおよそ □ エ □ 倍、遺伝性（的）影響で □ P □ レベルにあると推測されている。

<I の解答群>

- 1) 前期      2) 中期      3) 後期      4) 末期

<J の解答群>

- 1) 分裂遅延      2) 活性低下      3) 萎縮      4) 死亡

<K, L の解答群>

- 1) 末端肥大症      2) 多発性硬化症      3) 小頭症      4) てんかん  
5) 精神神経症      6) 精神遅滞      7) 精神発作      8) 統合失調症

<M, N の解答群>

- 1) 特発性疾患      2) 器質性疾患      3) 間欠的障害      4) 確定的影響  
5) 多発性疾患      6) 機能性疾患      7) 持続的障害      8) 確率的影响

<O の解答群>

- 1) X 線診断      2) 電子線治療      3) 核医学診断      4) 陽子線治療

<エの解答群>

- 1) 1.5      2) 3      3) 5      4) 10

<P の解答群>

- 1) 高い      2) ほぼ同じ      3) 低い

〔解答〕

I    A-5      B-1      C-7      D-5      E-2

注) A~E: 一般に、細胞分裂頻度が高いほど、将来、分裂する回数の多い細胞ほど、機能的および形態的に未分化な細胞ほど放射線感受性が高い（ベルゴニー・トリボンドーの法則）。このような細胞は幹細胞である。細胞再生系組織では、継続的に、幹細胞が自己複製を行うとともに分化・成熟して機能細胞を供給する。同時に、寿命が尽きた機能細胞が排除され、恒常性を維持している。眼の水晶体は細胞再生系組織であり、水晶体上皮細胞が活発に細胞分裂を繰り返している（水晶体は例外的に、老化した細胞を体外に排除する機構がない。）。

肝臓、腎臓、脾臓、甲状腺などの細胞休止系組織は、細胞再生系に比べて放射線感受性が低く、神経、筋肉、骨などの細胞非再生系組織は、さらに放射線感受性が低い。

II    F-4      ア-3      イ-3      ウ-8      G-1      H-2

注) F, ア, イ, G: 精巣は、生涯、常に精子が生産されており、放射線感受性が高い。精巣では、精細管内において幹細胞の精原細胞が体細胞分裂して一次精母細胞となり、減数分裂によって染色体数が半数の二次精母細胞を経て精子細胞となる。精子細胞は成熟して精子となる。

放射線感受性は分化に伴い低下するため、精原細胞で最も高く、一次精母細胞、二次精母細胞、精子細胞の順に放射線感受性が高く、精子は放射線感受性が低い。

精巣に0.15 Gy以上の急性被ばくをすると、分裂が一時的に停止するため精子の数が減少し、数週間後に一時的不妊となる（精子は比較的放射線抵抗性であり、かつ、その寿命も長いので、しばらくは生殖能力を保持する。）。

- ウ、H：幹細胞である卵原細胞は、胎生期に体細胞分裂により増殖し、一次卵母細胞となり、出生後、思春期まで第一減数分裂の途中で分裂を停止し、原始卵胞を形成する（静止期）。出生時200万個ほどあった一次卵母細胞は、思春期までにはアポトーシスによって30～40万個にその数を減らす。思春期以降では、原始卵胞は成熟卵胞へ成長し、排卵の直前に分裂を再開し、二次卵母細胞となる。二次卵母細胞は排卵後、第二減数分裂の途中で再び分裂を停止する（受精を契機に分裂を再開し第二減数分裂が完了し成熟卵子となる。）。

このように、卵原細胞は出生後にはすでに無いと考えられており、卵巣においては二次卵母細胞が最も放射線感受性が高い。卵巣への2.5 Gy以上の急性被ばくにより一時的に不妊となり、6 Gy以上の急性被ばくで永久不妊となるが、卵母細胞の数があらかじめ決まっているため、閉経付近ではこれらのしきい値は低くなる。

### Ⅲ I-1 J-4 K-3 L-6 M-4 N-8 O-1 エ-2 P-2

注）I～M：胎児の発達は、着床前期（胎生8日まで）、器官形成期（胎生9日～60日）、胎児期（胎生60日～出生）の三つの主要な時期に分けることができ、被ばくによる影響は時期に応じて特徴的である。着床前期では、胚が死亡するか正常に発育するかの二者択一となる。器官形成期では、発生段階にある器官を中心に奇形が起こることが動物実験で分かっている（原爆による胎内被爆者においては小頭症のみが認められている）。胎児期の25週までは中枢神経系が細胞致死、細胞分化と神経細胞の遊走の変化の結果、精神遅滞が起こる。これらはいずれも確定的影響であり100 mGyあるいはそれ以上のしきい値が存在するが、発症した場合は治癒しない。

N～P、エ：胎児の被ばくでは、確定的影響以外に、確率的影响についても考慮する必要がある。オックスフォードの小児がんサーベイでは、母親の腹部等のX線診断による10 mGy程度の胎内被ばくにより小児がんが有意に増加したとされるが、調査にあたり recall bias が生じた可能性が指摘されている。一方、原爆で胎内被ばくした胎児の調査では有意な影響が認められなかったが、こちらは統計的検出力の不足が指摘されている。現時点で結論は出ていないが、ICRPでは2007年勧告において、慎重な見方に立って、生涯がんリスクで集団全体のリスクのおよそ3倍（これは、小児期早期の被ばくリスクと同じ）、遺伝的影響でほぼ同じレベルにあると推測している（近年、胎児の被ばくにおける発がんリスクは、小児期よりも小さいとの報告もある）。



問 3 次の I, II の文章の  の部分に入る最も適切な語句, 記号又は数値を, それぞれの解答群から 1 つだけ選べ。なお, 解答群の選択肢は必要に応じて 2 回以上使ってもよい。

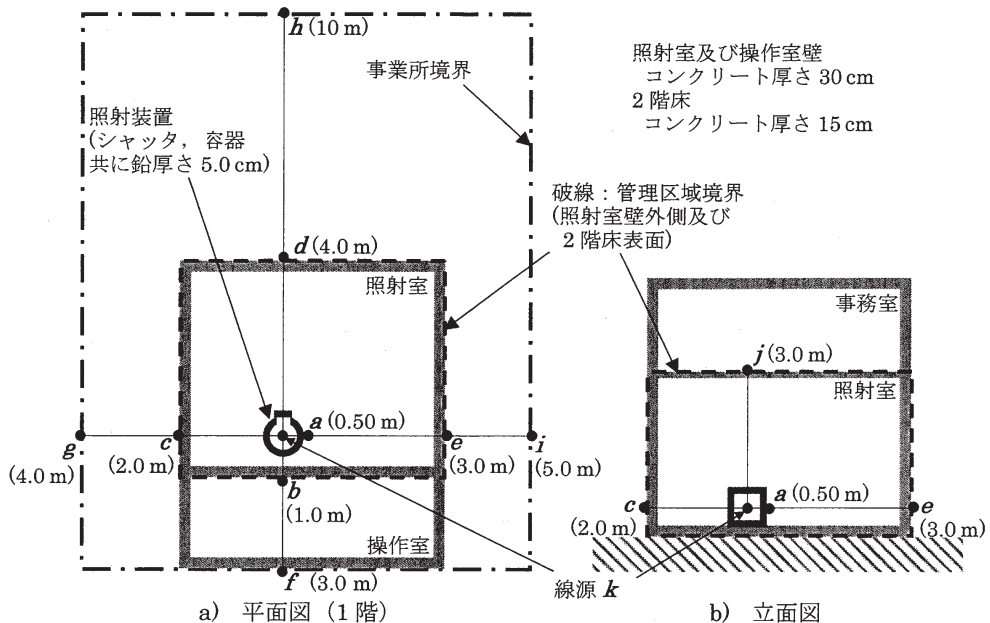


図 1  $\gamma$  線照射施設の平面図及び立面図

(評価点と共に示す距離は, 線源  $k$  からの距離である。)

I ある事業所では, コンクリート 2 階建ての建屋の 1 階に, 照射室と操作室をもつ  $\gamma$  線照射施設を有している (図 1)。本施設には  $^{137}\text{Cs}$  密封線源 (10 GBq) 1 個だけを装備する照射装置 (シャッター, 容器共に鉛厚さ 5.0 cm の遮蔽を備えたもの, 以下「照射装置」という。) が設置されている。シャッター開放時の鉛容器の照射孔は評価点  $d$  方向に向いており, ビームは十分にコリメートされ, 水平に照射される。照射室及び操作室の外壁及び部屋間の壁はコンクリート厚さ 30 cm, 2 階床はコンクリート厚さ 15 cm である。照射装置のシャッター操作は操作室から行われ, 線源使用時 (シャッター開放) は照射室内には立ち入らない。線源保管時 (シャッター閉鎖) には作業者は線源  $k$  から 0.50 m まで近づくことができる (評価点  $a$ )。評価点  $b \sim e$  及び  $j$  は管理区域の境界上, 評価点  $f \sim i$  は事業所の境界上にある。図 1 において評価点と共に示す距離は, 線源  $k$  からの距離である。なお, 2 階には事務室がある。

ここで, 人が常時立ち入る場所における作業者の 1 週間当たり最大となる実効線量, 並びに管理区域及び事業所の境界における 3 月間当たり最大となる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<br>[ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ] | 実効線量透過率              |                      |                      |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                   |                                                                                          | 鉛<br>5.0 cm          | コンクリート<br>15 cm      | コンクリート<br>30 cm      |
| $^{137}\text{Cs}$ | $7.8 \times 10^{-2}$                                                                     | $5.6 \times 10^{-3}$ | $3.5 \times 10^{-1}$ | $4.6 \times 10^{-2}$ |

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、事業所の境界においては3月間につき2,184時間とする。また、線源の使用時間は1週間当たり最大40時間、3月間当たり最大500時間とし、使用していないときは保管しているものとして評価する。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。

線量評価にあたっては、線源使用時及び線源保管時を考慮して行う必要がある。人が常時立ち入る場所における作業者の実効線量が最大となる地点は、 時における評価点  であり、1週間につき   $\mu\text{Sv}$  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   $\mu\text{Sv}$  を超えない。次に、管理区域の境界における実効線量が最大となる地点は、 時における評価点  であり、3月間につき   $\mu\text{Sv}$  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   $\mu\text{Sv}$  を超えない。また、事業所の境界における実効線量が最大となる地点は、評価点  であり、  $\mu\text{Sv}$  となる。この値は、法令で定める事業所の境界における線量限度である3月間につき   $\mu\text{Sv}$  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。

ここで、2階にある事務室を、宿舍（人が居住する区域）として利用することを考える。評価時間を3月間当たり2,184時間としたとき、評価点  $j$  における実効線量は   $\mu\text{Sv}$  となる。この値は、法令で定める事業所内の人が居住する区域における線量限度である3月間につき   $\mu\text{Sv}$  を超える。この場合、線量限度以下とするための遮蔽物の設置などを検討する必要がある。

<A～Eの解答群>

- |         |         |        |        |         |
|---------|---------|--------|--------|---------|
| 1) 線源使用 | 2) 線源保管 | 3) $a$ | 4) $b$ | 5) $c$  |
| 6) $d$  | 7) $e$  | 8) $f$ | 9) $g$ | 10) $h$ |
| 11) $i$ | 12) $j$ |        |        |         |

<ア～エの解答群>

- |                         |                       |                       |                       |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1) $5.1 \times 10^{-1}$ | 2) $2.1 \times 10^0$  | 3) $6.8 \times 10^0$  | 4) $8.1 \times 10^0$  |
| 5) $1.2 \times 10^1$    | 6) $2.6 \times 10^1$  | 7) $9.0 \times 10^1$  | 8) $1.0 \times 10^2$  |
| 9) $2.5 \times 10^2$    | 10) $7.0 \times 10^2$ | 11) $8.3 \times 10^2$ | 12) $1.0 \times 10^3$ |
| 13) $1.2 \times 10^3$   | 14) $1.3 \times 10^3$ | 15) $2.5 \times 10^3$ |                       |

<オ～クの解答群>

- |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1) $2.3 \times 10^0$  | 2) $3.4 \times 10^0$  | 3) $6.8 \times 10^0$  | 4) $1.8 \times 10^1$  |
| 5) $2.8 \times 10^1$  | 6) $8.5 \times 10^1$  | 7) $1.9 \times 10^2$  | 8) $2.3 \times 10^2$  |
| 9) $2.5 \times 10^2$  | 10) $3.0 \times 10^2$ | 11) $3.8 \times 10^2$ | 12) $9.2 \times 10^2$ |
| 13) $1.0 \times 10^3$ | 14) $1.3 \times 10^3$ | 15) $2.0 \times 10^3$ |                       |

- Ⅱ 本施設では、放射線業務従事者の外部被ばくによる線量を測定するためにOSL線量計、場所の放射線の量の測定に電離箱式及びNaI(Tl)シンチレーション式の $\gamma$ 線用線量当量率サーバイメータを用いている。

OSL線量計は、放射線照射された  を  で刺激することにより生じる輝尽発光を利用した線量計であり、特徴として、繰り返し読取りが可能であり、さらに反復利用が可能である。

電離箱式サーバイメータは、放射線と  との相互作用で生じた  を測定することで放射線を計測する。検出器壁材にプラスチックなど実効原子番号が  と等価な材質を用いることで、広いエネルギー範囲に対して良好な特性をもつ。



NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータは、放射線とシンチレータとの相互作用で生じた蛍光を J でパルス状の電気信号に変換して計数することで放射線を計測する。K 付近のエネルギーの  $\gamma$  線における線量率当たりの計数率が極端に高くなるが、パルスの高さに対する重み付け関数を用いて計数率から線量率に換算することで、L を改善したものが多く市販されている。

<F, G の解答群>

- |            |            |             |
|------------|------------|-------------|
| 1) 硫酸鉄     | 2) リン酸塩ガラス | 3) 酸化アルミニウム |
| 4) ヨウ化セシウム | 5) ポリエステル  | 6) フッ化リチウム  |
| 7) 熱       | 8) 可視光     | 9) 赤外線      |

<H~J の解答群>

- |           |            |               |
|-----------|------------|---------------|
| 1) PR ガス  | 2) 空気      | 3) Q ガス       |
| 4) プロパンガス | 5) 発光ダイオード | 6) 電界効果トランジスタ |
| 7) 光電子増倍管 | 8) 磁場      | 9) 電気抵抗       |
| 10) 電離電流  | 11) 電子なだれ  | 12) 電気放電      |

<K の解答群>

- |           |            |            |            |          |
|-----------|------------|------------|------------|----------|
| 1) 40 keV | 2) 100 keV | 3) 300 keV | 4) 600 keV | 5) 1 MeV |
|-----------|------------|------------|------------|----------|

<L の解答群>

- |           |             |             |           |
|-----------|-------------|-------------|-----------|
| 1) 線量率直線性 | 2) エネルギー分解能 | 3) エネルギー依存性 | 4) 積分非直線性 |
|-----------|-------------|-------------|-----------|

〔解答〕

- |   |      |     |     |      |      |      |      |      |
|---|------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| I | A-2  | B-3 | C-1 | D-6  | E-10 | ア-10 | イ-12 | ウ-13 |
|   | エ-14 | オ-7 | カ-9 | キ-11 | ク-9  |      |      |      |

注) 実効線量 [ $\mu\text{Sv}$ ] = 実効線量率定数 [ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ]  $\times$  放射能 [ $\text{MBq}$ ]  $\times$  評価時間 [ $\text{h}$ ]  $\div$  線源から評価点までの距離 [ $\text{m}$ ] の 2 乗  $\times$  遮蔽体の実効線量透過率 (複数の遮蔽体がある場合には、各々の透過率の積を全体の透過率とする。) ……(1)

A, B: 人が常時立ち入る場所における作業者の実効線量が最大となる地点は、図 1 より、線源  $k$  から最も近い評価点  $a$  であり、評価点  $a$  に近づくことができるのは、問題文より線源保管時である。

ア: 放射能 ( $10\text{GBq}=10^4\text{MBq}$ )、評価点  $a$  から線源  $k$  までの距離 ( $0.50\text{m}$ )、評価時間 ( $40\text{時間}$ )、鉛厚さ  $5\text{cm}$  容器内での線源保管に伴う透過率低下 (実効線量透過率  $5.6\times 10^{-3}$ ) から、1 週間の実効線量は(1)式より、

$$(7.8\times 10^{-2})\times 10^4\times 40\div 0.5^2\times (5.6\times 10^{-3})\div 7.0\times 10^2[\mu\text{Sv}].$$

イ: 使用施設内の人が常時立ち入る場所における線量限度は、実効線量が 1 週間につき  $1\text{mSv}$  以下である。

C, D: 管理区域の境界における評価点  $b\sim e$  及び  $j$  のうち、実効線量に差が出る、鉛遮蔽の有無とコンクリート遮蔽厚の違い及び線源  $k$  からの距離 (逆 2 乗則) を比較する。

評価点  $b$  から線源  $k$  は、鉛遮蔽有り、コンクリート遮蔽  $30\text{cm}$  有り、距離  $1.0\text{m}$  のため、

$$(5.6\times 10^{-3})\times (4.6\times 10^{-2})\div 1.0^2\div 2.6\times 10^{-4}.$$

評価点  $c$  から線源  $k$  は距離  $2.0\text{m}$ 、評価点  $e$  から線源  $k$  は距離  $3.0\text{m}$  で、評価点  $b$  と比較して明らかに小さい値となるため、ここでは計算を省略する。

評価点  $d$  から線源  $k$  は、シャッター開閉があるが実効線量が高くなるシャッター開で計算する。シャッター開放時の照射孔があり線源使用時は鉛遮蔽無し、コンクリート遮蔽  $30\text{cm}$  有り、距離  $4.0\text{m}$  のため、 $1\times (4.6\times 10^{-2})\div 4.0^2\div 2.9\times 10^{-3}$ 。

評価点  $j$  から線源  $k$  は、鉛遮蔽有り、コンクリート遮蔽  $15\text{cm}$  有り、距離  $3.0\text{m}$  のため、

$$(5.6\times 10^{-3})\times (3.5\times 10^{-1})\div 3.0^2\div 2.2\times 10^{-4}.$$

よって、評価点  $d$  の実効線量が最大となる。

ウ：線源使用時は、放射能 ( $10^4\text{MBq}$ )、評価点  $d$  から線源  $k$  までの距離 (4.0 m)、評価時間 (500 時間)、コンクリート遮蔽 30 cm に伴う透過率低下 (実効線量透過率  $4.6 \times 10^{-2}$ ) から、(1)式より、

$$(7.8 \times 10^{-2}) \times 10^4 \times 500 \div 4.0^2 \times (4.6 \times 10^{-2}) = 1121.3 [\mu\text{Sv}]。$$

よって、解答群に最も近い値は  $1.2 \times 10^3 [\mu\text{Sv}]$ 。

エ：管理区域設定において、外部放射線に係る線量については、実効線量が  $1.3\text{mSv}/3$  月間を超えるおそれのある場所を指す。

E：事業所の境界における評価点  $f \sim i$  のうち、実効線量に差が出る、鉛遮蔽の有無、コンクリート遮蔽厚、線源  $k$  からの距離、評価時間を比較する。

評価点  $f$  から線源  $k$  は、鉛遮蔽有り、壁厚 30 cm  $\times$  2 枚、距離 3.0 m、評価時間 2184 時間のため、

$$(5.6 \times 10^{-3}) \times (4.6 \times 10^{-2}) \times (4.6 \times 10^{-2}) \div 3.0^2 \times 2184 \div 2.9 \times 10^{-3}。$$

評価点  $g$  から線源  $k$  は、鉛遮蔽有り、壁厚 30 cm、距離 4.0 m、評価時間 2184 時間のため、

$$(5.6 \times 10^{-3}) \times (4.6 \times 10^{-2}) \div 4.0^2 \times 2184 \div 3.5 \times 10^{-2}。$$

評価点  $h$  から線源  $k$  は、線源使用時と線源保管時の場合で計算し、合算で評価する。

線源使用時は、鉛遮蔽無し、壁厚 30 cm、距離 10.0 m、評価時間 500 時間のため、

$$(4.6 \times 10^{-2}) \div 10.0^2 \times 500 = 2.3 \times 10^{-1}。$$

線源保管時の場合、鉛遮蔽有り、壁厚 30 cm、距離 10.0 m、評価時間 1684 時間 (2184 - 500) のため、

$$(5.6 \times 10^{-3}) \times (4.6 \times 10^{-2}) \div 10.0^2 \times 1684 \div 4.3 \times 10^{-3}。$$

$$\text{ゆえに、}(2.3 \times 10^{-1}) + (4.3 \times 10^{-3}) \div 2.3 \times 10^{-1}。$$

評価点  $i$  から線源  $k$  は距離 5.0 m で、評価点  $g$  と比較して明らかに小さい値となるため、ここでは計算を省略する。よって、評価点  $h$  の実効線量が最大となる。

オ：3 月間における線源使用時と線源保管時の実効線量を合算する。線源使用時は放射能 ( $10^4\text{MBq}$ )、評価点  $h$  から線源  $k$  の距離 (10.0 m)、評価時間 (500 時間)、コンクリート遮蔽 30 cm に伴う透過率低下 (実効線量透過率  $4.6 \times 10^{-2}$ ) から、(1)式より、

$$(7.8 \times 10^{-2}) \times 10^4 \times 500 \div 10.0^2 \times (4.6 \times 10^{-2}) \div 179.4 [\mu\text{Sv}]。$$

線源保管時の場合、評価時間 (1684 時間)、更に鉛遮蔽 5 cm 容器内での線源保管に伴う透過率低下 (実効線量透過率  $5.6 \times 10^{-3}$ ) を加え、(1)式より、

$$(7.8 \times 10^{-2}) \times 10^4 \times 1684 \div 10.0^2 \times (4.6 \times 10^{-2}) \times (5.6 \times 10^{-3}) \div 3.38 [\mu\text{Sv}]。$$

$$\text{ゆえに、} 179.4 + 3.4 = 182.8 \text{ で、解答群に最も近い値は } 1.9 \times 10^2 [\mu\text{Sv}] \text{ となる。}$$

カ：事業所境界の設定における線量限度は、実効線量が  $250\mu\text{Sv}/3$  月間以下である。

キ：放射能 ( $10\text{GBq} = 10^4\text{MBq}$ )、評価点  $j$  から線源  $k$  までの距離 (3.0 m)、評価時間 (2184 時間)、鉛遮蔽 5 cm 容器内での線源保管に伴う透過率低下 (実効線量透過率  $5.6 \times 10^{-3}$ )、コンクリート遮蔽 15 cm に伴う透過率低下 (実効線量透過率  $3.5 \times 10^{-1}$ ) から、1 週間の実効線量は(1)式より、

$$(7.8 \times 10^{-2}) \times 10^4 \times 2184 \div 3.0^2 \times (5.6 \times 10^{-3}) \times (3.5 \times 10^{-1}) \div 3.71 \times 10^2 \text{ で、解答群に最も近い値は } 3.8 \times 10^2 [\mu\text{Sv}]。$$

ク：事業所内の人の居住区域における線量限度は、実効線量が  $250\mu\text{Sv}/3$  月間以下である。

II F - 3 G - 8 H - 2 I - 10 J - 7 K - 2 L - 3

F：シート状の炭素を含む酸化アルミニウム結晶 ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ ) を用いている。

G：放射線照射直後の発光が消えた蛍光体に、発光波長より長波長の光 (レーザー) の照射により再発

光する蛍光体を輝尽性蛍光体とよぶ。OSL 線量計では、酸化アルミニウムの輝尽性蛍光体に、放射線照射後、緑色 (532 nm) の YAG レーザーを照射し、結晶が受けた放射線量に比例した量の紫色 (420 nm) の蛍光を読み取る。

- H : 電流型電離箱は、電離電流 ( $A=C/s$ ) から毎秒あたりの電子-イオン対生成数を求め、空気の W 値 (eV) を考慮し、空気の吸収線量 (Gy) を求めることができる。
- I : 電離箱の有感領域で発生した二次電子の一部は、有感領域外へ飛び出し、電子-イオン対を作る場合もある。そのため、検出器内部の空気と等価な検出器壁材を用いることで、壁の中で発生する二次電子による電荷の補償を行っている。
- J : 光電子増倍管はシンチレータの微弱な光を電子に変換し、増幅する真空管である。
- K : 100 keV 付近のエネルギーの  $\gamma$  線と物質では主に光電効果が起こるため、例えば 1 MeV 付近で起こるコンプトン散乱で発生する散乱光子より、高計数率が得られる。
- L : サーベイメータの表示値 (1 cm 線量当量等) の正しさの程度が、エネルギーによって変わる性質をエネルギー依存性 (又はエネルギー特性) とよぶ。 $^{137}\text{Cs}$  (662 keV) を基準とし、広エネルギー範囲で補正係数が 1 に近い場合、エネルギー特性がよい (または優れている)、あるいはエネルギー依存性が小さい (または少ない) と表記される。

問 4 次の I ~ III の文章の  の部分に入る最も適切な語句、記号、数値又は数式を、それぞれの解答群から 1 つだけ選べ。

- I 密封線源の産業利用には、大きく分けて、対象物質との相互作用による放射線強度等の変化から、その対象物質に固有の性質を評価するものと、放射線照射が対象物質にもたらす変化 (照射効果) 自体を利用するものとがある。

前者の例として、コンクリート等の水分量の測定に  ア  の密封線源が使われることがあるが、これには、 ア  の放出する中性子が、水素原子核との  A  により、大きく減速されるという性質が利用されている。また、透過型厚さ計では、放射線が被測定物の厚さに応じて減衰する性質が利用されているが、例えば、0.01~1 mm 程度のプラスチックシートの厚さ測定には、この目的に適したエネルギーの  B  を放出する  イ  の密封線源が使われている。

一方、後者の例としては、じゃがいもへの  ウ  密封線源による高線量  C  照射による発芽防止が挙げられる。

<ア~ウの解答群>

- 1)  $^{18}\text{F}$     2)  $^{24}\text{Na}$     3)  $^{60}\text{Co}$     4)  $^{63}\text{Ni}$     5)  $^{85}\text{Kr}$   
 6)  $^{99}\text{Mo}$     7)  $^{131}\text{I}$     8)  $^{210}\text{Po}$     9)  $^{235}\text{U}$     10)  $^{252}\text{Cf}$

<A~C の解答群>

- 1)  $\alpha$  線    2)  $\beta$  線    3)  $\gamma$  線    4) 特性 X 線  
 5) (n,  $\alpha$ ) 反応    6) 共鳴吸収    7) 弾性散乱    8) 非弾性散乱

- II 密封  $\gamma$  線源を安全に取り扱うためには、計算等により、あらかじめ線源周辺の空間の線量率分布を推定しておくことが重要である。

放射能  $A[\text{MBq}]$  の密封  $\gamma$  線源から  $R[\text{m}]$  離れた点の空気カーマ率  $K[\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}]$  は、線源カプセルや空気など周辺物質による吸収・散乱が無視できる場合、次の式で与えられる。

$$K = \frac{(10^6 \times 60 \times 60 \times 10^{-2} \times 1.602 \times 10^{-13}) \times A \cdot \sum_i \{E_i \cdot P_i \cdot \mu_i \cdot \rho^{-1}\}}{\quad}$$

D

ここで、 $E_i$  は光子  $i$  のエネルギー [MeV]、 $P_i$  は光子  $i$  の放出割合 [%]、 $\mu_i$  は光子  $i$  に対する空気の E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z AA AB AC AD AE AF AG AH AI AJ AK AL AM AN AO AP AQ AR AS AT AU AV AW AX AY AZ BA BB BC BD BE BF BG BH BI BJ BK BL BM BN BO BP BQ BR BS BT BU BV BW BX BY BZ CA CB CC CD CE CF CG CH CI CJ CK CL CM CN CO CP CQ CR CS CT CU CV CW CX CY CZ DA DB DC DD DE DF DG DH DI DJ DK DL DM DN DO DP DQ DR DS DT DU DV DW DX DY DZ EA EB EC ED EE EF EG EH EI EJ EK EL EM EN EO EP EQ ER ES ET EU EV EW EX EY EZ FA FB FC FD FE FF FG FH FI FJ FK FL FM FN FO FP FQ FR FS FT FU FV FW FX FY FZ GA GB GC GD GE GF GG GH GI GJ GK GL GM GN GO GP GQ GR GS GT GU GV GW GX GY GZ HA HB HC HD HE HF HG HH HI HJ HK HL HM HN HO HP HQ HR HS HT HU HV HW HX HY HZ IA IB IC ID IE IF IG IH II IJ IK IL IM IN IO IP IQ IR IS IT IU IV IW IX IY IZ JA JB JC JD JE JF JG JH JI JJ JK JL JM JN JO JP JQ JR JS JT JU JV JW JX JY JZ KA KB KC KD KE KF KG KH KI KJ KK KL KM KN KO KP KQ KR KS KT KU KV KW KX KY KZ LA LB LC LD LE LF LG LH LI LJ LK LL LM LN LO LP LQ LR LS LT LU LV LW LX LY LZ MA MB MC MD ME MF MG MH MI MJ MK ML MM MN MO MP MQ MR MS MT MU MV MW MX MY MZ NA NB NC ND NE NF NG NH NI NJ NK NL NM NN NO NP NQ NR NS NT NU NV NW NX NY NZ OA OB OC OD OE OF OG OH OI OJ OK OL OM ON OO OP OQ OR OS OT OU OV OW OX OY OZ PA PB PC PD PE PF PG PH PI PJ PK PL PM PN PO PP PQ PR PS PT PU PV PW PX PY PZ QA QB QC QD QE QF QG QH QI QJ QK QL QM QN QO QP QQ QR QS QT QU QV QW QX QY QZ RA RB RC RD RE RF RG RH RI RJ RK RL RM RN RO RP RQ RR RS RT RU RV RW RX RY RZ SA SB SC SD SE SF SG SH SI SJ SK SL SM SN SO SP

## 〔解答〕

I アー10 イー5 ウー3 Aー7 Bー2 Cー3

ア, A: 中性子水分計は, 中性子を放出する中性子線源と熱中性子に感度をもつ検出器で構成される。 $^{252}\text{Cf}$  や  $^{241}\text{Am/Be}$  などの中性子線源から放出される数 MeV の高速中性子は, 質量の小さい水素原子と衝突を繰り返すとエネルギーを失い, 低速の熱中性子 ( $\sim 0.025 \text{ eV}$ ) に変化する。一方, 水分がない場合, 高速中性子はエネルギーをほとんど失わず, 熱中性子に変化しにくくなる。高速中性子が熱中性子に変化する量は測定対象物中の水素量に比例するので, 熱中性子に対しては高感度であるが高速中性子には応答しない  $\text{BF}_3$  比例計数管を用いて熱中性子を測定することにより, 測定対象物中の水分量を知ることが可能となる。

B, イ:  $\beta$  線厚さ計は,  $\beta$  線源から照射された  $\beta$  線が, 被測定物の厚さに応じて減衰する性質を利用して被測定物の厚さを測定する装置で, 紙や, 数ミリ以下の比較的薄いフィルムやシートなどの厚さ測定に多く使用される。被測定物の厚さ範囲に応じて,  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  の  $\beta$  線源が多く使用されている。

ウ, C: 現在日本で照射が許可されている食品はじゃがいものみであるが, 世界的に見ると, 香辛料や食肉など 100 品目以上の食品が許可されている。なお, 我が国の食品衛生法に基づく規格基準で認められている吸収線量は  $150 \text{ Gy}$  ( $0.15 \text{ kGy}$ ) であり, 世界保健機関 (WHO) が食品に照射しても安全性に問題がないとしている吸収線量  $10 \text{ kGy}$  より低いレベルに抑えられている。

II Dー3 Eー6 Fー4 Gー4 Hー6

D, E, F: 放射能  $A [\text{MBq}] (=A \times 10^6 [\text{Bq}])$  の密封  $\gamma$  線源から距離  $R [\text{m}]$  離れた点における光子フルエンス率  $\phi$  は, 光子の放出割合を  $P [\%]$  とすると,

$$\phi = \frac{A \times 10^6 \times P \times 10^{-2}}{4 \pi R^2} \quad [\text{光子数}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})].$$

光子のエネルギーを  $E_i [\text{MeV}]$ , 空気の線エネルギー転移係数を  $\mu_i [\text{m}^{-1}]$  とし, 放射損失を無視できる場合, その点で毎秒空気  $1 \text{ m}^3$  に吸収されるエネルギーは,

$$\frac{A \times 10^6 \times P \times 10^{-2} \times E_i}{4 \pi R^2} \times \mu_i \quad [\text{MeV}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})].$$

したがって, その点で毎秒空気  $1 \text{ kg}$  に吸収されるエネルギーは, 空気の密度を  $\rho [\text{kg}/\text{m}^3]$  とすると,

$$\frac{A \times 10^6 \times P \times 10^{-2} \times E_i}{4 \pi R^2} \times \frac{\mu_i}{\rho} \quad [\text{MeV}/(\text{kg} \cdot \text{s})]$$

となるので,

$$\frac{A \times 10^6 \times P \times 10^{-2} \times E_i \times 10^6 \times 1.602 \times 10^{-19}}{4 \pi R^2} \times \frac{\mu_i}{\rho} \quad [\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{s})] = [\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}].$$

時間当たりに直すと,

$$\frac{A \times 10^6 \times P \times 10^{-2} \times E_i \times 10^6 \times 1.602 \times 10^{-19}}{4 \pi R^2} \times \frac{\mu_i}{\rho} \times 60 \times 60 \quad [\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}]$$

となり, これを整理すると,

$$K = \frac{10^6 \times 60^2 \times 10^{-2} \times 1.602 \times 10^{-13} \times A \times E_i \times P \times \frac{\mu_i}{\rho}}{4 \pi R^2} \quad [\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}]$$

となる。

G, H: カーマ  $K$  は, 非荷電粒子線によって二次的に生成された荷電粒子の初期運動エネルギーの総和  $\Delta E$  を微小領域の質量  $\Delta m$  で割った値で,  $K = \Delta E / \Delta m$  で与えられる。また, カーマを時間で除

した値をカーマ率とよぶ。カーマには衝突カーマと放射カーマがある。二次電子の初期運動エネルギーのうち、制動放射で失われるものを放射カーマとよび、カーマから放射カーマを除いたものを衝突カーマと呼ぶ。生成される二次電子が高いエネルギー (1 MeV 程度以上) をもっていると、放射カーマの割合が無視できなくなる。放射カーマが無視できる場合はカーマと衝突カーマは等しくなる。また、荷電粒子平衡が成立しているときは、微小領域に入ってくる電子と出ていく電子が等しいので質量エネルギー転移係数が質量エネルギー吸収係数に等しくなりカーマ率は吸収線量率と等しくなる。

Ⅲ I - 7 J - 3 エ - 2 オ - 8 K - 6 L - 3 M - 2 N - 9 O - 4

I, J : 1 cm 線量当量とは、国際放射線単位測定委員会 (ICRU) が測定のための実用量として導入した値であり、人の軟組織と等価の物質で作られた直径 30 cm の球 (ICRU 球) に放射線が入射した際に、その球の表面から 1 cm の深さにおける線量のことである。法令では実効線量は 1 cm 線量当量で算定するため、線量率測定用サーバイメータでも 1 cm 線量当量率で表示されている。

エ : ICRU (1992a) のデータより、自由空気中空気カーマから方向性線量当量  $H(10, 0)$  への変換係数と角度依存係数  $R(10, \alpha)$  は下表ようになる。この表より、 $^{137}\text{Cs}$  (0.662 MeV) の 1 cm 線量当量の値は、前方入射条件の実効線量のおよそ 1.2 倍となる。

| 光子エネルギー<br>(MeV) | $H(10, 0)/K_a$<br>(Sv/Gy) | 比 $H(10, \alpha)/H(10, 0)$ |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|---------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  |                           | 0°                         | 15°  | 30°  | 45°  | 60°  | 75°  | 90°  | 180° |
| 0.015            | 0.26                      | 1.00                       | 0.85 | 0.63 | 0.42 | 0.20 | 0.05 | 0.00 | 0.00 |
| 0.020            | 0.61                      | 1.00                       | 0.94 | 0.83 | 0.67 | 0.46 | 0.22 | 0.06 | 0.00 |
| 0.030            | 1.10                      | 1.00                       | 0.98 | 0.93 | 0.85 | 0.69 | 0.47 | 0.23 | 0.00 |
| 0.050            | 1.67                      | 1.00                       | 1.00 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.61 | 0.37 | 0.02 |
| 0.100            | 1.65                      | 1.00                       | 1.00 | 0.98 | 0.93 | 0.86 | 0.70 | 0.48 | 0.04 |
| 0.150            | 1.49                      | 1.00                       | 1.00 | 0.98 | 0.95 | 0.88 | 0.75 | 0.56 | 0.08 |
| 0.300            | 1.31                      | 1.00                       | 1.00 | 0.99 | 0.96 | 0.91 | 0.82 | 0.67 | 0.13 |
| 0.662            | 1.20                      | 1.00                       | 1.00 | 1.00 | 0.97 | 0.95 | 0.87 | 0.76 | 0.23 |
| 1.25             | 1.16                      | 1.00                       | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.97 | 0.92 | 0.82 | 0.34 |
| 2                | 1.14                      | 1.00                       | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.93 | 0.85 | 0.44 |
| 3                | 1.13                      | 1.00                       | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.94 | 0.86 | 0.49 |
| 5                | 1.11                      | 1.00                       | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.94 | 0.88 | 0.56 |
| 10               | 1.10                      | 1.00                       | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.95 | 0.90 | 0.62 |

K : 電離箱式サーバイメータは気体の電離作用を利用しており、その測定原理から測定感度のエネルギー依存性が小さく、線量率の測定を最も正しく行うことができるが、感度自体が低いバックグラウンド程度の低い線量の測定には適さない。通常は  $1 \mu\text{Sv/h}$  程度以上の線量測定に用いられる。機種にもよるが 300~500 mSv/h 程度の高線量域まで使用できる。

L : シンチレーション式サーバイメータは放射線による発光現象を利用している。NaI(Tl)シンチレーション式サーバイメータは  $\gamma$  線に高い感度をもち、バックグラウンド程度の  $\gamma$  線を高感度に測定することができる。測定器のエネルギー特性を 1 cm 線量当量に合わせたものであれば、 $\mu\text{Sv/h}$  単位での線量測定をより正しく行うことができる。

M : GM 管式サーバイメータは放射線による気体の電離作用を利用した測定器である。 $\beta$  線に対して高感度であり、感度は劣るが  $\gamma$  線や X 線も測定可能である。注意点としては GM 管固有の不感時間が長いので、計数率が高くなると真の値に比べて低い値を表示してしまう。このため、高線量域での使用には適さない。

N : GM 管に放射線が入射すると電子・陽イオン対が生成されるが、陽イオンの方が電子よりもはるかに重いので、陰極 (管壁) に到達するまでに時間がかかってしまい陽極線 (芯線) 周囲の電場の強度が下がる。このときに次の放射線が入射しても電子などが生じないのでパルスが出力されない。



この時間を不感時間という。一方、電場が回復しつつあるときに放射線が入射すると微弱なパルスが出力されるようになるものの、このパルスの波高が検知できるほど大きくなるのにはある程度の時間がかかる。これを分解時間という。実用上は不感時間＝分解時間と考えてよい。GM 管の分解時間は  $10^{-4}$  秒程度である。

オ：計数率  $10 \text{ s}^{-1}$  のとき線量率  $3.0 \mu \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$  を示すサーベイメータが、 $240 \mu \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$  の指示値を示すときの計数率は、 $240 \div 3 = 80$  倍であるので  $80 \times 10 = 800 \text{ s}^{-1}$  となる。分解時間が  $150 \mu \text{ s}$  のとき、計

数率の何%が数え落とされるかは、補正式  $N = \frac{n}{1 - n\tau}$

を使って計算することができる。ここで  $N$  は真の計数率、 $n$  は測定された計数率、 $\tau$  は分解時間である。この式に上の値を代入すると、

$$\frac{800}{1 - 800 \times 150 \times 10^{-6}} = \frac{800}{1 - 0.12} = 909 [\text{s}^{-1}] \quad \frac{909 - 800}{800} \times 100 = 13.625 [\%].$$

よって、計数率の 13.625% が数え落とされるので、数え落とされる線量率は、

$$240 \times \frac{13.625}{100} = 32.7 \approx 33 \mu \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}.$$

オ：あまりに高線量な放射線を GM 管によって測定すると、表示される線量値がかえって低下してしまい、極端な場合は放射線が一切検知できなくなってしまう。この現象を窒息現象という。これは分解時間内に次の放射線が入ってくると、分解時間がさらに長くなることが原因である。計数率が極めて高い場合、分解時間が非常に長くなり、測定器としての機能が失われることになる。数え落としの補正式の  $n\tau$  が 0.2～0.3 を超えたあたりの線量からこの窒息現象がはじまる。

問 5 高純度 Ge 半導体検出器による  $\gamma$  線スペクトル測定に関する次の I～Ⅲの文章について、 の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から 1 つだけ選べ。

I ゲルマニウム (Ge) は炭素族 (14 族) 元素で、ケイ素よりも狭いバンドギャップ (約  ア eV) を持つ半導体である。純粋な結晶中では、隣接する 4 原子と共有結合を形成しているが、その価電子は放射線や熱等の外部刺激で容易に伝導帯へ遷移して伝導性を担う。また、電子が抜けたあとの  A も伝導性を担う。伝導性を担う電子や  A はキャリアと呼ばれる。

高純度 Ge 結晶を放射線計測に用いるには、熱励起を防ぐための冷却を要する。冷却材として主に  B が用いられるほか、電気冷却式も見られる。

放射線の検出には、結晶に高電圧を印加し、放射線入射で生じた電荷を収集する。結晶が冷却された状態で逆バイアス電圧を印加すると、キャリアのほとんど存在しない領域、すなわち  C を生じる。この領域は電気抵抗が極めて大きく、高電圧を印加しても漏れ電流が生じない。放射線入射で生じたキャリアは強い電場により再結合を免れ、各電極へ向けて移動する。このとき流れる電流を信号として読み出す。

<アの解答群>

- 1) 0.7    2) 3.7    3) 5.5    4) 34.0    5) 35.5

<A～Cの解答群>

- |            |           |              |
|------------|-----------|--------------|
| 1) N 型領域   | 2) P 型領域  | 3) アクセプター準位  |
| 4) 液体窒素    | 5) 液体ヘリウム | 6) エチレングリコール |
| 7) 正孔      | 8) クーパー対  | 9) 空乏層       |
| 10) 格子間原子  | 11) 光電陰極  | 12) ドナー準位    |
| 13) ドライアイス | 14) 陽電子   |              |



Ⅱ 電流信号を読み出すために、結晶格納部に隣接して前置増幅器を設置する。前置増幅器は検出器と後段の主増幅器の **D** を整合し、検出器から信号を引き出して最大限の信号対雑音比で主増幅器へと伝送する。前置増幅器の入力段には、しばしば **イ** が用いられる。

主増幅器は積分回路で波形を整形し、検出器が受け取ったエネルギーに比例する波高を持つパルスに変換する。この積分時定数を短くすると計数率特性（スループット）は改善するが、弾道欠損により **E** は劣化する。また、主増幅器にはパルス波形のアンダーシュートやオーバーシュートを解消する **F** キャンセル機能、偶発的に重畳した信号を排除する **G** 除去機能、および **H** の変動を抑制する **H** レストアラ機能等が付随する。

主増幅器で整形したパルスの波高分布を **ウ** でヒストグラム化すると、検出器が受け取ったエネルギーのスペクトルが得られる。

<D の解答群>

- |              |            |             |
|--------------|------------|-------------|
| 1) インダクタンス   | 2) インピーダンス | 3) カットオフ周波数 |
| 4) ダイナミックレンジ | 5) ファノ因子   | 6) ロジックパルス  |

<イ, ウの解答群>

- |                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| 1) PIN フォトダイオード       | 2) アバランシェフォトダイオード (APD) |
| 3) スペクトロスコープアンプ       | 4) 時間波高変換器 (TAC)        |
| 5) 電界効果トランジスタ (FET)   | 6) 波形弁別器                |
| 7) マルチチャネルアナライザ (MCA) | 8) レートメーター              |

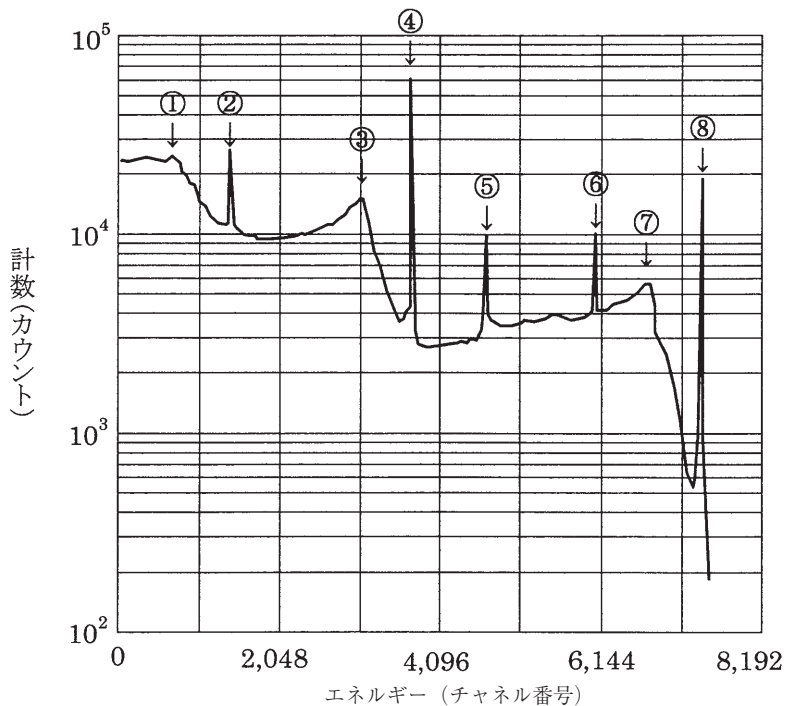
<E の解答群>

- |             |       |          |
|-------------|-------|----------|
| 1) エネルギー分解能 | 2) 感度 | 3) 空間分解能 |
| 4) 時間分解能    |       |          |

<F~H の解答群>

- |             |               |            |
|-------------|---------------|------------|
| 1) アフターグロー  | 2) 管電圧        | 3) グランドループ |
| 4) ジッター     | 5) パイルアップ     | 6) 波高ウォーク  |
| 7) バックグラウンド | 8) ピーク対コンプトン比 | 9) ベースライン  |
| 10) ポールゼロ   | 11) ライズタイム    |            |

Ⅲ 次の図は、高純度 Ge 半導体検出器で測定した $^{24}\text{Na}$ 線源のエネルギースペクトルの例である。



この線源は、2 種類のエネルギーの  $\gamma$  線（いずれも 1.0 MeV 以上）を放出する。なお、グラフの横軸は  ウ  のチャンネル番号である。

スペクトル上のピーク①～⑧のうち、この 2 種類の  $\gamma$  線の全吸収ピークは、エネルギーの低い方からピーク  エ  とピーク  オ  である。

$\gamma$  線のエネルギーが一定値を超えると、物質との相互作用で電子対生成を生じ、スペクトルには陽電子と関わりの深い構造が現われる。陽電子は生成地点近傍で電子と対消滅し、主に  I  の消滅放射線を 2 本生じる。この 2 本がともに検出器外へ逃れると、全吸収よりも  I  の 2 倍だけ低いエネルギーが検出器に与えられ、ピーク  カ  として現われる（ダブルエスケープピーク）。また、1 本のみが逃れると、全吸収よりも  I  だけ低い位置にピーク  キ  として現われる（シングルエスケープピーク）。

以上のことなどから、グラフ横軸の 1 チャンネルは  J  keV に相当する。この値から、ピーク②は検出器外部から入射した  K  の全吸収ピークと推定される。

<エ～キの解答群>

- 1) ①    2) ②    3) ③    4) ④    5) ⑤    6) ⑥    7) ⑦    8) ⑧

<I の解答群>

- 1) 371 keV    2) 511 keV    3) 662 keV    4) 1.02 MeV    5) 2.04 MeV

<J の解答群>

- 1) 0.18    2) 0.37    3) 0.66    4) 1.33    5) 2.50

<K の解答群>

- 1) 宇宙線      2) 後方散乱光子      3) 消滅放射線      4) 制動 X 線      5) 特性 X 線

〔解答〕

I    ア-1      A-7      B-4      C-9

注) ア：多数の原子が集まった固体結晶中では、多数の電子軌道が重なり合うように互いに密接し、バンドとよばれる帯状のエネルギー領域が形成されている。バンドギャップとは、広い意味ではバンド構造において電子が存在できないエネルギー領域をさすが、本問のような半導体特性の説明においては、価電子で満ちているエネルギーバンド（価電子帯）と空の軌道の集まりといえる伝導帯とのエネルギーの差という、狭い意味で用いられる。ゲルマニウムのバンドギャップは  $0.67 \text{ eV}$  で、ケイ素の  $1.11 \text{ eV}$  よりも小さい。

B, C：結晶中で電子や正孔というキャリア（電荷の運搬体）が存在しない領域を空乏層という。ゲルマニウムの結晶が、例えば室温の状態におかれると価電子帯にある電子が伝導帯に熱励起して伝導性をもってしまいうため、液体窒素や電気冷却により低温にして熱励起を防いでいる。空乏層に荷電粒子が入射してきたり、光子が入射することにより光電効果などの相互作用によっても電子が発生したりすると、価電子帯にある電子はエネルギーを獲得して伝導帯に遷移して自由電子になり、逆バイアス電圧（電流が流れない方向にかけた電圧）により電流が流れ、電気信号（パルス）として放射線の入射を捉えることができるとともに、そのパルスの大きさからエネルギー弁別を行うことができる。

II   D-2      イ-5      ウ-7      E-1      F-10      G-5      H-9

注) D, イ：半導体検出器の大きなメリットの一つはエネルギー分解能が優れているということであるが、検出器自体からの出力信号が小さいために雑音が大きき問題となる。そこで、検出器からの微弱な信号を増幅し、インピーダンス整合を行うことにより損失なく主増幅器に伝えるはたらきをする前置増幅器が備えられている。この前置増幅器の入力段に FET を用い、それを検出器とともに冷却することにより、雑音を減らし、エネルギー分解能を高いものとしている。

E, F, G, H, ウ：特に、大きな結晶のゲルマニウム検出器で時定数を短くして高エネルギーの  $\gamma$  線を測定するような場合には、放射線が検出された位置によって電荷収集時間にバラツキが生じるためにパルスの立ち上がり時間が変動する。この弾道欠損という事象もエネルギー分解能低下の原因になる。

主増幅器に入力される信号は、すでにその時点で指数関数的に減衰するパルスであるのでアンダーシュートを生じることになる。このアンダーシュートはスペクトルのピークの低エネルギー側へのひろがりを引き起こしてエネルギー分解能を低下させる。このようなアンダーシュートやオーバーシュートを解消する機能がポールゼロキャンセル機能である。

計数率が高い場合には、ある信号パルスが、その前の信号パルスのテールにかぶってしまうために本来の信号よりも高い信号になるパイルアップをいう現象が起こり、ピークのゆがみやバックグラウンドの増加の原因となるので、そのような信号を除去する機能が必要となる。また、高計数率ではベースラインの変動が起こりやすい。ベースラインが下がれば、それだけ波高が低くなることになるのでエネルギー分解能を低下させることになる。ベースラインレストアラは、ベースラインを基準レベルに復帰させるものである。

マルチチャンネルアナライザは、アナログ信号であるパルス波高値をデジタル化し、それぞれに対応するチャンネルのメモリに計数として蓄積する機能を有するものである。各チャンネルのメモリに蓄積された計数をチャンネルに対してグラフ表示したものが設問Ⅲのような  $\gamma$  線スペクトルである。

III   エ-4      オ-8      カ-5      キ-6      I-2      J-2      K-3

注) エ, オ, カ, キ, I： $^{24}\text{Na}$  が  $\beta^-$  壊変した後に放出される  $\gamma$  線のエネルギーは、 $1,369 \text{ keV}$  と  $2,754 \text{ keV}$

の 2 種類であり、スペクトル中の④と⑧がそれぞれのピークに相当する。ただし、本問では、これらのエネルギーの値は与えられていないので、これ以降の問題とあわせて考える必要がある。 $\gamma$ 線と物質との主な相互作用の一つである電子対生成は、検出器に入射する $\gamma$ 線のエネルギーが電子及び陽電子の静止質量の和に相当するエネルギー ( $0.511 \times 2 = 1.022 \text{ MeV}$ ) を超える場合に起こる。しかし、スペクトル上で実際に電子対生成が起きたことが確認できるような場合、すなわち、後に出てくるシングルエスケープピークやダブルエスケープピークが観測できるのは、 $\gamma$ 線が  $2 \text{ MeV}$  程度以上のエネルギーをもっている場合に限られる。スペクトルを見ると、線源からの 2 種類の $\gamma$ 線によるピーク以外にも何種類かのピークが見られ、ピーク⑤、⑥及び⑧の間隔 (エネルギー差) が等間隔であるので、それぞれのピークがダブルエスケープピーク、シングルエスケープピーク及び全吸収ピーク (線源からの 2 種類のエネルギーの $\gamma$ 線のうちの一つ) であることが推定される (ただし、エネルギーとチャンネルとの間に直線性があることが前提である)。また、ピーク⑤とピーク⑧のチャンネルの間隔が  $1.022 \text{ MeV}$  であることから、スペクトル上のピーク④の位置 (チャンネル) がエネルギーに換算して  $1.0 \text{ MeV}$  以上であることが推定され、ピークの形状も全吸収ピークと同様であることから、このピークが線源から放出される 2 種類の $\gamma$ 線のうちのエネルギーの低い方に相当することがわかる。

J, K: ピーク⑤と⑧のエネルギー差 ( $1,022 \text{ keV}$ ) と両ピークのチャンネルの差から J の値を算出するのが本問の題意であろう。与えられたスペクトルから各ピークのチャンネルを正確に読み取るのは難しいので、ピーク⑤を 4,700 チャンネル、ピーク⑧を 7,400 チャンネルとし、それらのピークのエネルギー差を  $1,000 \text{ keV}$  として計算すると、

$$1,000 / (7,400 - 4,700) = 0.37$$

となる。スペクトル上のピーク②の位置を 1,400 チャンネルとすると、そのエネルギーは、

$$1,400 \times 0.37 = 518$$

となり、このピークが消滅放射線 ( $511 \text{ keV}$ ) によるものであることが推定される。これは、検出器の周囲の鉛遮蔽体と $\gamma$ 線との相互作用 (電子対生成) により生じた陽電子が消滅したときに放出された消滅放射線のうちの一方が検出器に入射したために見られるピークである。

なお、ピーク①は後方散乱ピークであり、ピーク③及び⑦は、それぞれ、ピーク④及び⑧のコンプトンエッジである。

## 管 理 技 術 Ⅱ

## 第60回（平成30年）

次の各問について、1から5までの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 次の量と単位の関係として、正しいものの組合せはどれか。

- |               |   |                                   |
|---------------|---|-----------------------------------|
| A 照射線量        | — | $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$   |
| B 1 cm 線量当量   | — | $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$   |
| C 質量エネルギー吸収係数 | — | $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| D 預託実効線量      | — | $\text{Sv} \cdot \text{y}$        |
| E 粒子フルエンス     | — | $\text{m}^{-2}$                   |
- 1) AとB    2) AとC    3) BとD    4) CとE    5) DとE

〔解答〕

4

- 注) A：誤 照射線量は、X線や $\gamma$ 線の光子系放射線に対する単位であり、乾燥空気に対して照射した場合の生成電荷量であるため、単位は $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$ となる。
- B：誤 1 cm 線量当量は、人体に対する放射線被ばくの影響評価指標であり、体表面から1 cm 内側における吸収線量と放射線加重係数（線質係数）との積であらわされ、単位はSvとなる。
- C：正 質量エネルギー吸収係数は、放射線が物質を通過するときに吸収される質量あたりのエネルギー量で、線エネルギー吸収係数 $\text{m}^{-1}$ を物質密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )で除した値で表すため、単位は $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ となる。
- D：誤 預託実効線量は、任意の個体が摂取した放射性物質から一生で受けると予想される被ばく線量であり、預託等価線量と組織加重係数との積の和であるため、単位はSvとなる。なお、積算期間について明記する必要があるが、一般的に成人では50年、未成年では70年が用いられることが多い。
- E：正 粒子フルエンスは、任意の球体への粒子入射量を当該球の表面積で除した値を指すため、単位は $\text{m}^{-2}$ となる。

問2 静止していた電子、陽子、He原子核を、電位差100 kVの電極間で加速したとする。電子の運動エネルギーを1としたとき、陽子およびHe原子核の運動エネルギーとして最も近い値は、次のうちどれか。

- |    | 電子 | 陽子                       | He原子核                    |
|----|----|--------------------------|--------------------------|
| 1) | 1  | $\frac{1}{\sqrt{1,836}}$ | $\frac{2}{\sqrt{7,294}}$ |
| 2) | 1  | $\frac{1}{1,836}$        | $\frac{2}{7,294}$        |

- 3)    1            1            2
- 4)    1             $\sqrt{1,836}$          $2 \times \sqrt{7,294}$
- 5)    1            1,836         $2 \times 7,294$

〔解答〕

3

注) 任意の電位差  $V$  で加速された粒子（電荷量： $n \times$ 単位電荷）が電場から得るエネルギー量は、対象粒子の質量に関係なく  $n \times V [\text{eV}]$  となる。また、当該条件において得るエネルギー量（100 keV または 200 keV）は相対的に低く、相対論補正（質量エネルギーへの置換）がほとんど効かないエネルギー領域であるため、各粒子が得たエネルギーは、各粒子の運動エネルギーと概ね近い。このため、各粒子の運動エネルギーの比は各粒子の電荷の比と近い値となる。

電子：陽子：He 原子核  $\div 1 : 1 : 2$

問 3 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

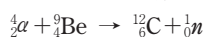
- A  $\alpha$  壊変により放出される  $\alpha$  線のエネルギーは、連続分布する。  
 B  $\beta^-$  壊変により、原子核から反ニュートリノが放出される。  
 C 内部転換により、原子核から  $\gamma$  線が放出される。  
 D 自発核分裂により、原子核から  $\gamma$  線が放出される。  
 E  $\alpha$  線とベリリウムとの核反応により、中性子が放出される。

- 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：誤  $\alpha$  壊変の場合、壊変により生成される粒子の数は 2 個（壊変核及び  $\alpha$  粒子）であり、開放される核エネルギー（核種により固定）の分配比は一意に決まるため、放出  $\alpha$  線のエネルギーはピーク状の分布となる。
- B：正  $\beta^-$  壊変は、中性子過剰核において発生する中性子  $\rightarrow$  陽子変換過程で、この過程において電子と反電子ニュートリノを放出する。
- C：誤 内部転換は、原子核の持つ余剰エネルギーが軌道電子殻に移行する現象を指すため  $\gamma$  線は放出されない。内部転換に伴う生成物は、軌道電子殻から放出される電子（内部転換電子）となる。また、これに引き続いて空位となった準位への別の軌道電子の遷移に伴い特性 X 線が放出されることもある。
- D：正 自発核分裂は、非常に重い核（U、Pu 等）が確率的に引き起こす核分裂現象を指し、この時に核分裂生成物（Fission Product：FP）が生成される。FP は基本的に中性子過剰核であるため、中性子放出過程や  $\beta^-$  壊変等を経由しながら安定核へ向かって変化していく。この過程で励起核が  $\gamma$  壊変して  $\gamma$  線を放出する。なお、原子炉等で中性子入射により発生させている核分裂現象は誘導核分裂という。
- E：正 ベリリウムは  $\alpha$  入射により、以下の反応を起こす。



当反応の Q 値は 5.71 MeV である。

問4 4種類の単体の放射性核種1g当たりの放射能が小さい順に並んでいるのは、次のうちどれか。なお、（ ）内は半減期である。

A  $^{60}\text{Co}$  (5.3年)

B  $^{137}\text{Cs}$  (30年)

C  $^{204}\text{Tl}$  (3.8年)

D  $^{241}\text{Am}$  (430年)

1) A < B < C < D

2) C < A < B < D

3) D < B < A < C

4) D < B < C < A

5) D < C < B < A

〔解答〕

4

注) 放射能  $A$  は、壊変定数  $\lambda$  と原子核数  $N$  との積で表される。この時、壊変定数  $\lambda$  は半減期  $T_{1/2}$  に反比例し、原子核数  $N$  は対象物質の質量数  $m$  及び重量  $n$  とアボガドロ数により算出することが出来る。これより、放射能は質量数と半減期の積に反比例する。

$$A = \lambda \cdot N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \left( \frac{n}{m} \times 6.02 \times 10^{23} \right) = \frac{C_1}{T_{1/2} \cdot m}$$

$$C_1 = \ln 2 \times n \times 6.02 \times 10^{23}$$

対象物の半減期 [年] と質量数の積は、それぞれ以下の通りとなる。

A : 318, B : 4,110, C : 775.2, D : 103,630

よって、放射能の大きさは上記の数値の逆順となる。

D < B < C < A

問5 壊変定数に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A 壊変定数は原子核1個が単位時間あたりに壊変する確率である。

B 壊変定数は高温高压条件下では小さくなる。

C 壊変定数  $\lambda$  は、半減期  $T$  の逆数である。

D 分岐壊変の部分壊変定数の和が全体の壊変定数である。

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

〔解答〕

2

注) A : 正 壊変定数は、原子核1個が単位時間あたりに壊変する確率を指し、核種により固有の値を持つ。

B : 誤 壊変定数は、高温 (500℃ 以上) 高压 (0.1 MPa 以上) でも変化しない。

C : 誤 半減期と壊変定数は反比例の関係にあり、その比例定数は  $\ln 2$  である。

D : 正 壊変定数は、原子核1個が単位時間あたりに壊変する確率であるため、複数の壊変形式を有する場合、全体の壊変確率は個別の壊変確率の和となる。

問6 LET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 電子線に対しては、LETは定義されない。



- B LETの算定においては、物質を構成する原子・分子の電離が対象となり、励起は対象にならない。  
 C 同一の物質に対しては、放射線のエネルギーが同じならばその種類が異なっても、LETは同じ値になる。  
 D  $\alpha$ 線は、物質中で運動エネルギーを失って停止する直前にLETが最大となり、続いて急激に低下する。  
 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：誤 LET（線エネルギー付与）とは、粒子の飛跡に沿った局所的なエネルギーの付与率を指す。このため、LETは粒子系放射線（電子線、陽子線、 $\alpha$ 線等）に対して定義されるものであるが、光子等のような間接電離放射線に対しても、それらの作る二次荷電粒子に着目して拡張して用いられる。  
 B：誤 LET算定において粒子から物質へ局所的に付与されたエネルギーはその形態を問わないため、クーロン相互作用や衝突等により対象物質の移行されたエネルギーに基づく全ての局所的状態変化（電離、励起、化学鎖切断、分子振動変化等）がLETの算定対象事象となる。  
 C：誤 放射線の周囲への付与エネルギーの大きさは、放射線の種類、エネルギー、対象物質の原子番号、密度等に依存している。  
 D：正 ハドロン系粒子線は物質中での進行方向変化は小さく、その比エネルギー損失は停止直前に大きなピークを持つブラッグ曲線を描く。LETもこれに伴い同様な分布をとる。

問 7  $^{137}\text{Cs}$ 線源からの $\gamma$ 線が生体に入射したときの相互作用の確率が大きい順に並んでいるものは次のうちどれか。

- 1) 光電効果            >    コンプトン効果    >    電子対生成  
 2) 光電効果            >    電子対生成            >    コンプトン効果  
 3) コンプトン効果    >    光電効果            >    電子対生成  
 4) コンプトン効果    >    電子対生成            >    光電効果  
 5) 電子対生成            >    コンプトン効果    >    光電効果

〔解答〕

3

- 注) 水に対する光子の各反応に対する相互作用断面積を比較すると、約25～30 keV以上でコンプトン効果の相互作用断面積は、光電効果の相互作用断面積に比べて大きく、電子対生成の相互作用断面積は1.02 MeVまで0である。このため662 keVにおける相互作用の大小は、以下の通りになる。  
 コンプトン効果 > 光電効果 > 電子対生成

問 8  $^{137}\text{Cs}$ 線源から放出された $\gamma$ 線のコンプトン散乱において、反跳電子の最大エネルギー [keV] として、最も近い値は次のうちどれか。

- 1) 184    2) 331    3) 478    4) 511    5) 662

〔解答〕

3

- 注) 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  $\theta$  によって以下の様に記述される。

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

ここで、662 keV 入射光子に対する最小散乱光子エネルギー（ $\theta = 180^\circ$ ）は、以下の通りとなる。

$$h\nu' = \frac{662}{1 + \frac{662}{511} \cdot 2} = 184.3 [\text{keV}]$$

よって、反跳電子の最大エネルギーは  $662 - 184.3 \div 478 [\text{keV}]$  となる。

問9 次の放射線検出器のうち、 $\alpha$  線放出核種の核種同定に最も適しているものはどれか。

- 1) ZnS(Ag)シンチレーション検出器
- 2) 表面障壁型 Si 半導体検出器
- 3) 固体飛跡検出器
- 4) 液体シンチレーション検出器
- 5) 高純度 Ge 検出器

〔解答〕

2

- 注) 1：誤 ZnS(Ag)シンチレータは、450 nm 近辺の光を放出する無機シンチレータである。通常多結晶状態で低透過率であるため、エネルギー分解能は極めて低く、入射粒子の有無判別に使われる。 $\alpha$  線用サーベイメータや加速器のビーム位置確認等に使用される。
- 2：正 表面障壁型 Si 半導体検出器は、n 型結晶の表面に形成される高密度の電子捕獲中心が p 型物質の役目をして接合を作っている半導体検出器である。半導体検出器は他の形式の放射線検出器に比べてボトルネックにおける情報キャリア数が多いためエネルギー分解能は極めて高い。表面障壁型 Si 半導体検出器は荷電粒子線のエネルギー弁別にも用いられており、核データ測定、 $\alpha$  線や核分裂片のスペクトル測定等にも使用される。
- 3：誤 固体飛跡検出器は、有機物質や無機物質中の分子配列損傷を化学処理により光学観察できるサイズに成長させて入射放射線を測定する検出器である。固体飛跡検出器の特徴は安価に粒子系放射線の入射位置・方向を特定できることであり、一方で単体使用でのエネルギー分解能は低い。高エネルギー宇宙放射線の測定等で用いられる場合もある。
- 4：誤 液体シンチレーション検出器は、有感体積部が液相の有機シンチレータであり、有感体積部に線源を容易に内包することが可能な検出器である。その幾何特性から、低エネルギー  $\beta$  線の核種弁別に多用されているが、シンチレーション検出器であるためエネルギー分解能は高くなく、 $\alpha$  線の核種同定に用いられることは少ない。
- 5：誤 高純度 Ge 検出器は、不純物を  $10^{10}$  原子/cm<sup>3</sup> 以下まで低減した超高純度 Ge 結晶を用いた半導体検出器であり、前述の Si 半導体検出器に比べて極めて大きな空乏層つまり有感体積を持つ検出器である。前述した通り、半導体検出器はエネルギー分解能が極めて良いため様々なエネルギー弁別の用途に使われている。高純度 Ge 検出器の場合、その大きな有感体積から、一般的には  $\gamma$  線のエネルギー弁別に用いられている。

問10  $\gamma$  線照射施設において、サーベイメータにより作業環境モニタリングを行っていた。照射装置のシャッター解放後 10 秒で、ほぼ 0 であった指示値が、 $10 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$  に上昇した。このサーベイメータの時定数が 10 秒であったとすると、十分長い時間経過後の指示値 [ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ] として、最も近い値は次のうちどれか。

ただし、 $e=2.7$ とする。

- 1) 14    2) 16    3) 18    4) 20    5) 22

〔解答〕

2

注) 時定数とは、測定器の電子回路中にあるコンデンサの静電容量と抵抗値の積と定義され、サーベイメータなどの計数率計において正しい応答が得られるまでの時間の目安を示すものである。指示値が0であった検出器（時定数 $\tau$ ）の $t$ 秒後の指示値 $x$ は、十分長い時間経過後の指示値（以下「最終指示値」という）を $x_0$ とすると、

$$x(t) = x_0 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right\}$$

で与えられる。

このことから、時定数10秒を持つサーベイメータの最終指示値 $x_0$ は

$$x_0 = \frac{x(t)}{\left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right\}} = \frac{10}{1 - 2.7^{-\frac{10}{10}}} \approx 15.9 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}]$$

となる。

問11 次の放射線検出器のうち、熱中性子の測定に一般的に用いられている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  $^{10}\text{BF}_3$ ガスを充填した比例計数管  
 C 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  
 D  $^6\text{Li(Eu)}$ 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〕

5

- 注) A：誤 比例計数管に充填されたメタンガスでは、放射線によって初期電離電子が生成される。生成された初期電子は、印加電圧に応じた「電子なだれ」を起こし、生成電荷は電極により収集される。収集電荷量により、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、および光子のエネルギーを測定することもできる。
- B：正  $^{10}\text{BF}_3$ ガスを充填した比例計数管の中では、熱中性子と $^{10}\text{B}$ の核反応 $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)^7\text{Li}$ により生成した $\alpha$ 線との電離作用によって電子が生成する。生成したパルス数を計数することにより、熱中性子を測定することができる。
- C：誤 プラスチックシンチレータとは、ポリスチレンなどのプラスチックの中にアントラセンなどの有機発光物質が入っている検出器であり、取扱が容易で加工性がよく大型のものも製作可能である。主に $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線及び反跳陽子を利用した高速中性子の測定に用いられる。
- D：正  $^6\text{Li(Eu)}$ シンチレータを搭載したシンチレーション検出器では、熱中性子と $^6\text{Li}$ の核反応 $^6\text{Li}(\text{n}, \alpha)^3\text{H}$ により生成した $\alpha$ 線がEuで添加されたLiI結晶を発光させる。発生した光を測定することによって熱中性子を測定することができる。

問12 バックグラウンド計数率及び総計数率は、それぞれ50秒間測定したとき、 $88 \text{ s}^{-1}$ 、 $200 \text{ s}^{-1}$ であった。

この時の正味計数率の標準偏差 [ $\text{s}^{-1}$ ] として、最も近い値は次のうちどれか。

- 1) 1.5    2) 2.4    3) 11    4) 17    5) 120

〔解答〕

2

注) 総計数率を  $n[s^{-1}]$ 、バックグラウンド計数率を  $n_b[s^{-1}]$ 、計数時間を  $t[s]$  とすると、正味の計数率の持つ標準偏差  $\sigma[s^{-1}]$  は次式のように表される。

$$\sigma = \left\{ \left( \frac{n}{t} \right) + \left( \frac{n_b}{t} \right) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

この式より、求める正味計数率の標準偏差は、

$$\left\{ \left( \frac{200}{50} \right) + \left( \frac{88}{50} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} = 2.4$$

となる。

問13 イメージングプレート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 BaFBr:Eu<sup>2+</sup>などの輝尽性蛍光体を利用した2次元検出器である。
- B 読み取りには紫外線を照射する必要がある。
- C 電子線にも感度がある。
- D 曝露から読み取りまでの時間が長いとフェーディングが起きる。

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：正 イメージングプレートとは、BaFBr:Eu<sup>2+</sup>などの輝尽性蛍光体をプラスチックフィルムに塗布し、平面的な放射線の量の分布を測定する検出器であり、画像解析が可能である。
- B：誤 読み取りには、紫外線ではなくHe-Neレーザーなど可視光レーザーを用いる。
- C：正 輝尽性蛍光体は電子線にも敏感に反応する。
- D：正 フェーディングとは放射線照射によって素子に蓄えられた線量の情報が時間の経過、温度などの条件によって消失していく現象であり、イメージングプレートの場合、放射線のエネルギーにより準安定な励起状態になっていた部分が徐々に元に戻ってゆくことにより起こる。

問14 個人被ばく管理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 内部被ばくに係わる実効線量として、1年間の摂取による、50年間の預託実効線量を算定する。
- B 外部被ばくとして、1cm線量当量と70μm線量当量を測定する。
- C 実効線量として、外部被ばくに係わる線量と内部被ばくに係わる線量とを合算する。
- D 妊娠中の女性の腹部表面の等価線量として、1cm線量当量を測定する。

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 法令等の条文中では「預託」という言葉は使用されていないが、RIを摂取してしまった場合、預託実効線量に相当する線量を1年間で内部被ばくしたものとし、その年の外部被ばく線量と合算して線量限度を超えていないかを判断する。
- B：正 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施行規則  
第20条第2項の抜粋

法第二十条第二項の放射線の量の測定は、外部被ばくによる線量及び内部被ばく（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をいう。以下同じ。）による線量について、次に定めるところにより行う。

一 外部被ばくによる線量の測定は、次に定めるところにより行うこと。

イ 胸部（女子（妊娠不能と診断された者及び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を除く。ただし、合理的な理由があるときは、この限りでない。）にあつては腹部）について一センチメートル線量当量及び七十マイクロメートル線量当量（中性子線については、一センチメートル線量当量）を測定すること。

（以下略）

C, D：正 告示「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」（平成 12 年科学技術庁告示第 5 号）第 20 条の一部抜粋

（実効線量及び等価線量の算定）

第二十条

規則第二十条第四項第五号に規定する実効線量は、次に規定する外部放射線に被ばくすること（以下「外部被ばく」という。）による実効線量と内部被ばくによる実効線量との和とする。

一 外部被ばくによる実効線量は、一センチメートル線量当量とすること。

（中略）

二 内部被ばくによる実効線量は、前条第二項の規定により算出したものとする。

2

規則第二十条第四項第五号に規定する等価線量は、次のとおりとする。

一 皮膚の等価線量は、七十マイクロメートル線量当量とすること。

二 眼の水晶体の等価線量は、一センチメートル線量当量又は七十マイクロメートル線量当量のうち、適切な方とすること。

三 第六条第三号に規定する妊娠中である女子の腹部表面の等価線量は、一センチメートル線量当量とすること。

（以下略）

問 15 次の記述のうち、外部被ばくの防護に重要と考えられるものの組合せはどれか。

- A 線源と人体の間に遮蔽物をおく。
- B 線源と人体の間の距離をとる。
- C 作業時間をできるだけ長くする。
- D 個人被ばく線量をモニタリングする。

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) C：誤 作業時間を短くすることで外部被ばくの低減をはかることができる。例えば、コールドラン(RIを用いない模擬操作)を実施して作業手順の効率化や作業時間の短縮を検討する。あるいは、日常的に繰り返される作業については機械による自動化を導入することも有効な時短の手立てとなる。

問 16 ICRP 2007 年勧告における職業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 食物から体内に取り込まれる<sup>40</sup>Kによる被ばくは、職業被ばくに含まれる。
- B 航空機乗務員の飛行中における宇宙放射線による被ばくは、職業被ばくに含まれる。
- C 診断に伴う医療従事者の被ばくは、職業被ばくに含まれない。

D 線量限度の値は、職業被ばくと公衆被ばくとで異なる。

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

〔解答〕

5

注) A：誤 天然に存在するカリウム 40 による被ばくは職業被ばくに含まれない。

B：正 航空機乗務員が職務中に被ばくする場合は職業被ばくである。

C：誤 医療従事者の被ばくは職業被ばくであり、これに対して検査や治療を受ける患者等の被ばくについては職業被ばくとは言わない。

D：正 ICRP は、放射線により誘発されると考えられるがんによる死亡確率、その死亡による寿命損失等を調べ、連続被ばくによるリスクの増え方を考慮して線量限度を設定している。その際、一般公衆については、個人差なども考慮して、職業人よりも低い値を線量限度として採用している。

問 17 化学的性状が不明の汚染を除去するとき、最初に試みるべき除染剤として最も適切なものは次のうちどれか。

- 1) 水  
2) クエン酸  
3) DMF (N,N-ジメチルホルムアミド)  
4) 希硫酸  
5) 熱濃硫酸

〔解答〕

1

注) まずは水で希釈洗浄し、この洗浄液を廃液として回収するか紙タオル等に吸収させることが望ましい。化学的性状が不明な場合、酸性の溶液等（クエン酸や硫酸）を用いると化学反応を起こしてしまう危険性があるのでこれらを除染に用いるのは不適當である。また熱濃硫酸は極めて反応性が高いので取扱が難しく、RI を含む除染廃液が発生した場合、その処理は簡単ではない。DMF は有機溶媒としてよく用いられるが、人体に有害で揮発性が高いことから、ドラフト内等で使用すべき物質である。

問 18 陽電子放出核種ではないものは、次のうちどれか。

- 1)  $^{11}\text{C}$   
2)  $^{13}\text{N}$   
3)  $^{18}\text{F}$   
4)  $^{24}\text{Na}$   
5)  $^{68}\text{Ga}$

〔解答〕

4

注) 1：陽電子放出核種である。 $^{11}\text{C}$  は陽電子を放出して、 $^{11}\text{B}$  になる。

2：陽電子放出核種である。 $^{13}\text{N}$  は陽電子を放出して、 $^{13}\text{C}$  になる。

3：陽電子放出核種である。 $^{18}\text{F}$  は陽電子を放出して、 $^{18}\text{O}$  になる。

4：陽電子放出核種でない。 $^{24}\text{Na}$  は  $\beta$  線を放出して、 $^{24}\text{Mg}$  になる。

5：陽電子放出核種である。 $^{68}\text{Ga}$  は陽電子を放出して、 $^{68}\text{Zn}$  になる。

問 19 一般消費財（コンシューマプロダクツ）と核種の関係として、正しいものの組合せは、次のうちどれか。

- A 夜光塗料 —  $^3\text{H}$   
 B グロー球 —  $^{85}\text{Kr}$   
 C 静電除去装置 —  $^{210}\text{Po}$   
 D 煙感知器 —  $^{241}\text{Am}$

- 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：正  $^3\text{H}$  から放出される  $\beta^-$  線によってエネルギーを与えられた蛍光体が発光することを利用している。  
 B：正  $^{85}\text{Kr}$  から放出される  $\beta^-$  線により、電子の数を増やして放電開始を容易にすることで、蛍光灯を早く点灯可能にする。  
 C：正  $^{210}\text{Po}$  から放出される  $\alpha$  線による電離作用で生成するイオンによって、帯電体の静電気と反対の電荷を持つイオンが引きつけられ、帯電体の電荷が中和されることを利用したものである。  
 D：正  $^{241}\text{Am}$  から放出される  $\alpha$  線によるイオン電流が、煙粒子密度に依存して減少することを利用したものである。

問 20 放射線の医学利用に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A X 線 CT では、対象内の物質の X 線に対する線減弱係数の分布を反映した画像を表示できる。  
 B 重粒子線によるがん治療では、ブラッグピークを利用して線量を患部に集中できる。  
 C MRI 装置では、 $\beta$  線源が用いられている。  
 D PET 診断では、陽電子による 511 keV の消滅放射線を利用している。

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

〔解答〕

1

- 注) C：誤 MRI（磁気共鳴画像、Magnetic Resonance Imaging）は、強い磁石と電磁波を使って体内の水素原子をゆさぶり、原子の状態を画像化する検査のこと。電離放射線や放射性同位体は使用しない。

問 21 自然放射線に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 宇宙放射線の成分としては、 $\alpha$  線が大部分を占める。  
 B 土壌中のウラン系列の天然放射性核種は、放射線被ばくの原因となる。  
 C 日本人の体内に含まれる放射性核種を放射能 [Bq] で比べると、カリウム 40 が最も多い。  
 D ポロニウム 210 から放出される  $\alpha$  線は、食べ物による内部被ばくの原因となる。

- 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：誤 宇宙放射線の成分として、その大部分（約 86% 程度）を占めるのは陽子である。その他、大気中においては中性子、 $\pi$  粒子、 $\mu$  粒子、電子なども二次的に発生する。

問 22 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 TLD の素子を放射線照射することによって、励起電子が捕獲中心に捕えられる。



- B 蛍光ガラス線量計の発光量が、放射線照射後しばらく経って安定する現象を、ビルドアップ現象という。
- C 固体飛跡検出器のプラスチック表面に放射線照射によって生じる傷を、熱処理により拡大して検出する。
- D フェーディング現象は、蛍光ガラス線量計の方がTLDよりも大きい。
- 1) ACDのみ    2) ABのみ    3) BCのみ    4) Dのみ    5) ABCDすべて

〔解答〕

2

- 注) C：誤 粒子線が固体飛跡検出器のプラスチック表面にヒットすると傷が入る（樹脂の架橋構造等が局部的に壊れる）。このプラスチックをアルカリ等で処理する（エッチング処理）と、顕微鏡等で観察可能な大きさに傷を拡大することができる。
- D：誤 TLDは、高温多湿下でフェーディングにより過小評価となることがある。一方、蛍光ガラス線量計はほとんどフェーディングしない。

問23 放射線業務従事者の個人線量計の使用方法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 管理区域に立ち入る際は、放射線作業の有無にかかわらず装着する。
- B 背面側のみが照射されることが明らかな場合は、背面にも1個装着する。
- C 体幹部を覆う含鉛防護衣を男子が着用するときは、襟部と防護衣内側の胸部とに装着する。
- D 紛失防止のため、管理区域内の作業現場に保管する。
- 1) ABCのみ    2) ABのみ    3) ADのみ    4) CDのみ    5) BCDのみ

〔解答〕

1

- 注) A：正 使用中のRIや放射線発生装置等により放射線が発生している可能性があるため、自身が放射線作業に従事しない場合においても管理区域に立ち入る際には個人線量計を装着する。
- B：正 背面に限らず、胸部（女子は腹部）とは別に、外部被ばくによる線量が最大となるおそれがある部位がある場合は、その部位付近にも装着する。
- C：正 鉛防護衣の内側の胸部（女子は腹部）がその者の外部被ばく線量の測定部位となるが、防護衣で覆えない部分（頭部及び頸部など）の被ばく線量が胸部よりも高くなる可能性があるため、襟部にも装着する。
- D：誤 個人線量計は放射線業務従事者が作業中に被ばくする線量のみを測定するためのもの。従事者が身に付けていない状態で管理区域内の作業現場に線量計を放置すると、無用な計測をしてしまうこととなり、過大評価となりがねない。

問24 放射線影響の線量率効果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 低LET放射線では、線量率が低くなると一般に生存率が低下する。
- B 低LET放射線では、線量率が低くなると一般に突然変異誘発率が低下する。
- C 高LET放射線では、一般に生物効果の線量率依存性が大きい。
- D 低LET放射線では、一般に急照射と緩照射で確定的影響の発生率は異なる。
- 1) AとB    2) AとC    3) AとD    4) BとD    5) CとD

〔解答〕

4

- 注) 線量率効果とは、低LET放射線において、同じ放射線量を一度に受けるよりも低線量率で長期に受け

た方が生物影響の現れ方が低くなることである。この効果は、生体あるいは細胞が持っている修復能によると考えられている。一方、高 LET 放射線では、低線量率被ばくの方が生物影響が大きくなる逆線量率効果が見られる。

A：誤 低 LET 放射線では、線量率が高くなると回復の機会を逃す可能性が高くなるため、生存率が低下する。

C：誤 高 LET 放射線では、線量率に依存した回復効果の違いが小さいため、一般に生物効果の線量率依存性が小さい。

問 25 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 DNA 損傷が修復されないと残ると、突然変異を誘発する可能性がある。

B 塩基損傷を修復する過程でも、DNA 1 本鎖切断が生じる。

C  $\gamma$  線では、DNA 2 本鎖切断は DNA 1 本鎖切断よりも高頻度で生じる。

D 塩基損傷は、DNA 複製を阻害する可能性がある。

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

〔解答〕

2

注) A：正 DNA 損傷の修復がうまく働かないと、DNA 塩基配列に永続的な変化が生じ、突然変異となり得る。

B：正 DNA 修復のうち除去修復では、損傷した塩基を除去してその間隙を合成修復するため、修復過程で 1 本鎖切断が生ずる。

C：誤  $\gamma$  線では、DNA 2 本鎖切断に比べて DNA 1 本鎖切断が高頻度で生じる。

D：正 たとえば、脱アミノ反応や酸化反応などは DNA 複製を阻害する。

問 26  $\gamma$  線による 50 mGy の急性全身被ばくに関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

1) 食欲不振がみられる。

2) 下痢がみられる。

3) 嘔吐がみられる。

4) リンパ球数の減少がみられる。

5) 臨床的变化は観察されない。

〔解答〕

5

注) 1，3：誤 被ばく線量 1～2 Gy で放射線宿酔とよばれる悪心、嘔吐や食欲不振がみられる。

2：誤 被ばく線量 3 Gy を超えると下痢を起こす。

4：誤 被ばく線量 0.25 Gy を超えるとリンパ球数の減少が見られる。

5：正 被ばく線量が 0～0.25 Gy では臨床的症状は現れない。

問 27 放射線被ばく後に働く生体防御の仕組み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 細胞周期の進行を一時停止させることで、損傷を持つ DNA の複製や分配を防ぐ。

B がんなど有害な影響を及ぼす可能性の高い細胞をアポトーシスによって除去する。

C p53 を活性化させ様々な遺伝子の発現を誘導することは、発がんの促進に繋がる。

D 形質転換あるいはがん化した細胞に対して免疫システムが働く。

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 細胞周期を正しく進行させているかどうかを監視し、放射線被ばく等で異常や不具合がある場合には細胞周期の進行を停止もしくは減速させる制御機能のことを細胞周期チェックポイントという。
- B：正 生理的、病理的要因により生じた不要な細胞や障害細胞などを積極的に除去する能動的細胞死をアポトーシスという。
- C：誤 p53 は細胞内で DNA 修復や細胞増殖停止、アポトーシスなどの細胞増殖サイクルの抑制する機能を持ち、細胞ががん化したときにアポトーシスを起こすとされる癌抑制遺伝子の 1 つである。
- D：正 外部から与えられた DNA が遺伝情報として組み込まれて、個体あるいは細胞の遺伝形質が変化することを形質転換といい、免疫システムとはがん細胞等の異常な細胞を認識して殺滅することで、生体を病気から保護する多数の機構が集積したシステムをいう。

問 28 突然変異および染色体異常に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 放射線によって誘発される突然変異の中には、化学物質によって誘発されるものと同じタイプのものがある。
- B 突然変異には、塩基置換が含まれる。
- C 放射線によって誘発される染色体異常は、次世代の細胞に受け継がれることはない。
- D 染色体異常には、構造上の異常だけでなく数の異常もある。
- 1) ABD のみ    2) AB のみ    3) AC のみ    4) CD のみ    5) BCD のみ

〔解答〕

1

- 注) A：正 放射線に特有な突然変異のタイプはない。
- C：誤 生殖細胞に生じた場合は、次世代に受け継がれるおそれがある。

問 29 内部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 時計の文字盤にラジウムを含む夜光塗料を塗るダイヤルペインターに甲状腺がんが多発した。
- B トロトラスト（トリウムを含む血管造影剤）の投与を受けた患者では、のちに肝がんの発生が増加した。
- C ウラン鉱山の作業者に肺がんの増加が認められたのは、ラドンとその子孫核種の吸入が原因と考えられる。
- D チェルノブイリ原子力発電所の事故の後に、周辺住民に甲状腺がんの増加が認められた。
- 1) ABC のみ    2) ABD のみ    3) ACD のみ    4) BCD のみ    5) ABCD すべて

〔解答〕

4

- 注) A：誤 時計の文字盤にラジウムを含む夜光塗料を塗るダイヤルペインターに骨肉腫が多発した。

問 30 放射線発がんリスクに関する次の記述のうち適切と考えられるものの組合せはどれか。

- A 過剰相対リスクの値は、相対リスクの値から 1 を引いた値である。
- B 低線量・低線量率被ばくのリスク評価に、DDREF（線量・線量率効果係数）が用いられる。
- C 広島・長崎原爆被爆生存者の固形がんの過剰発生は、被ばく直後から始まった。

D 2 Gy 以下の線量域では、広島・長崎原爆被爆生存者に見られた白血病の過剰絶対リスクは直線モデルに適合すると考えられている。

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

〔解答〕

1

注) C：誤 固形がんの発生は、被ばく後 10 数年を過ぎてから増え始めた。

D：誤 直線モデルではなく、直線-2 次曲線型の上向きの弯曲がみられる。





