

第 58 回

第 2 種放射線取扱主任者試験 問 題 と 解 答 例

第58回 平成28年8月26日 実施

第 58 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 58 回（平成 28 年）	1
-----------------------	---

管理技術Ⅰ

第 58 回（平成 28 年）	15
-----------------------	----

管理技術Ⅱ

第 58 回（平成 28 年）	31
-----------------------	----

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 58 回（平成 28 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。

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 定義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。

「この法律において「放射線」とは、 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（ されているこれらのものを含む。）で政令で定めるものをいう。

3 この法律において「放射性同位元素装備機器」とは、 をいう。」

A	B	C
1 原子炉等規制法	密封	硫黄計その他の放射性同位元素を装備している機器
2 原子炉等規制法	機器に装備	表示付認証機器又は表示付特定認証機器
3 原子力基本法	機器に装備	硫黄計その他の放射性同位元素を装備している機器
4 原子力基本法	機器に装備	表示付認証機器又は表示付特定認証機器
5 原子力基本法	密封	表示付認証機器又は表示付特定認証機器

〔解答〕

3

注）法第 2 条（定義）

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 使用の目的及び方法
- B 廃棄の方法
- 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〕

3

注）法第 3 条（使用の許可）

- A：正 法第3条第2号第3項，令第3条第1項，平成12年10月23日科学技術庁告示第5号第1条第1号イ
- B：誤 法第3条第2号第7項「廃棄の方法」ではなく，「廃棄する施設」の位置，構造および設備。
- C：正 法第3条第2号第5項
- D：正 法第3条第2号第6項

問3 次の記述のうち，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 下限数量以下の密封された放射性同位元素のみを使用しようとする者
- B 下限数量を超える密封されていない放射性同位元素のみを使用しようとする者
- C 下限数量の1,000倍以下の放射性同位元素を装備した表示付認証機器のみを認証条件に従わずに使用しようとする者
- D 下限数量を超え，下限数量の1,000倍以下の密封された放射性同位元素のみを使用しようとする者
- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕

5

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

- A：誤 法第3条，法第3条の2，令第1条，告示第5号 放射性同位元素の定義にあてはまらず，許可，届出の必要はない。
- B：誤 法第3条，令第1条，告示第5号 許可を受けなければならない。
- C：正 法第3条の2 表示付認証機器を認証条件に従わずに使用することは，ただし書きには当てはまらないため，届出が必要。
- D：正 法第3条，法第3条の2，令第3条 使用の届出の対象。

問4 使用の届出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，コバルト60の下限数量は100キロボクセル，セシウム137の下限数量は10キロボクセルであり，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，10メガベクレルの密封されたコバルト60を装備したレベル計を10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セシウム137を装備した校正用線源を1個使用しようとする者は，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。
- B 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セシウム137を装備した照射装置を1台使用しようとする者は，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 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を装備した照射装置を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セシウム137を装備したレベル計を1台使用しようとする者は，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，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セシウム137を装備した照射装置を1台使用しようとする者は，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。

- 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 3 条（使用の許可）、法第 3 条の 2（使用の届出）、令第 3 条（使用の許可）

- A：正 法第 3 条 下限数量の 1,000 倍を超えると許可。コバルト 60 の場合は 100 メガベクレル、セシウム 137 は 10 メガベクレルである。A は届出対象。
 B：誤 法第 3 条 セシウム 137 が下限数量の 1,000 倍（10 メガベクレル）を超えるため、許可対象となる。
 C：誤 法第 3 条 同上
 D：正 法第 3 条、法第 3 条の 2 いずれも下限数量の 1,000 倍を超えないため、届出対象となる。

問 5 次のうち、表示付認証機器の使用をする者（当該表示付認証機器に係る認証条件に従った使用、保管及び運搬をするものに限る。）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 表示付認証機器の使用をする施設の位置、構造及び設備
 C 使用の目的及び方法
 D 使用の場所

- 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 3 条の 3（表示付認証機器の使用をする者の届出）

- A：正 法第 3 条の 3 第 1 項
 B：誤 法第 3 条の 3 第 2 項 「使用をする施設の位置、構造及び設備」ではなく、「法第 12 条の 6 に規定する認証番号及び台数」。また、表示付認証機器を放射線使用施設で使用する規定はない。
 C：正 法第 3 条の 3 第 3 項
 D：誤 そのような規定はない。

問 6 次のうち、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を業として賃貸する者を除く。）が、原子力規制委員会への届書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 放射線障害を防止するために講ずる措置を記載した書面
 B 賃貸の業を適確に遂行するに足る経理的基礎を有することを明らかにする書面
 C 法人にあっては、登記事項証明書
 D 予定事業開始時期、予定事業期間及び放射性同位元素の種類ごとの最大賃貸予定数量（予定事業期間中の任意の時点において現に賃貸していることが予定される数量のうち最大のもの）を記載した書面

- 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 4 条（販売及び賃貸の業の届出）、令第 6 条（販売及び賃貸の業の届出）、則第 6 条（販売及び

賃貸の業の届出）第2項

A：誤 そのような規定はない。

B：誤 そのような規定はない。

C：誤 そのような規定はない。

D：正 則第6条第2項

問7 次のうち、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 使用の場所

B 使用の目的

C 使用の方法

D 貯蔵施設の貯蔵能力

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

〔解答〕

2

注）法第9条（許可証）第2項

A：正 法第9条第2項第5号

B：正 法第9条第2項第3号

C：誤 そのような規定はない。

D：正 法第9条第2項第6号

問8 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 蛍光エックス線分析装置による物質の組成の調査

C ガンマ線厚さ計による物質の厚さの調査

D 中性子水分計による土壌中の水分の質量の調査

1 ABDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕

1

注）法第10条（使用施設等の変更）第6項、令第9条（許可使用に係る変更の許可の申請）第1項第5号、平成3年11月15日科学技術庁告示第9号（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）

A：正 告示第9号1

B：正 告示第9号2

C：誤 告示第9号3 正しくは、ガンマ線密度計による物質の密度の調査

D：正 告示第9号3

問9 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 貯蔵室には、放射性同位元素を入れる耐火性の容器を備えること。

- B 貯蔵室は、その主要構造部等を不燃材料で造ることとし、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。
- C 貯蔵施設のとりら、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。
- D 貯蔵箱は、耐火性の構造とすること。

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 14 条の 9（貯蔵施設の基準）

A：誤 則第 14 条の 9 第 4 号 容器に耐火性は要求されていない。

B：誤 則第 14 条の 9 第 2 号イ 主要構造部を耐火構造とすること。

C：誤 則第 14 条の 9 第 5 号 正しくは、「かぎその他の閉鎖のための設備又は器具を設けること。」

D：正 則第 14 条の 9 第 2 号ロ

問 10 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 貯蔵施設の貯蔵能力の減少
- B 放射性同位元素の使用時間数の減少
- C 放射性同位元素使用室の構造の変更
- 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 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕

2

注) 法第 10 条（使用施設の変更）第 2 項、則第 9 条の 2（変更の許可を要しない軽微な変更）、平成 17 年 6 月 1 日文部科学省告示第 81 号（変更の許可を要しない軽微な変更を定める告示）

A：正 則第 9 条の 2 第 1 号

B：正 則第 9 条の 2 第 5 号、告示第 81 号第 1 条第 1 号

C：誤 そのような規定は無い。

D：正 則第 9 条の 25 号、告示第 81 号第 1 条第 3 号

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 集電式電位測定器
- D 熱粒子化式センサー

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、平成17年7月4日文科科学省告示第93号（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令第12条第1項第3号の放射性同位元素装備機器を指定する告示）

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号第1項

D：正 令第12条第1項第3号、告示第93号第2項

問12 放射線施設の標識を付ける箇所のうち、放射線障害防止法上定められているものの組合せは、次のうちどれか。

A 放射性同位元素の使用をする室の出入口又はその付近

B 表示付認証機器を使用する室の出入口又はその付近

C 事業所の境界で外部に通ずる出入口又はその付近

D 貯蔵室にあってはその出入口又はその付近

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12条の5（認証機器の表示等）第1項、則第14条の5（表示）、則第14条の7（使用施設の基準）第9項、則第14条の9（貯蔵施設の基準）第7項

A：正 則第14条の7第9項

B：誤 法第12条の5第1項、則第14条の5 表示付認証機器を使用する場所は規定していない。

C：誤 則第14条の7第9項 「事業所の境界で外部に通ずる出入口又はその付近」ではなく、「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」。

D：正 則第14条の9第7項

問13 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。ただし、法第10条第6項の規定により、使用の場所の変更について原子力規制委員会に届け出て、密封された放射性同位元素の使用をしている場合を除く。

A 密封された放射性同位元素を耐火性の構造の容器に入れて保管する場合にあっては貯蔵施設において行うこと。

B 密封された放射性同位元素を耐火性の構造の容器に入れて保管する場合には、その容器について、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 貯蔵室内に核セキュリティに必要な注意事項を掲示すること。

D 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。

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16条（保管の基準等）第1項、則第17条（保管の基準）第1項

A：正 法第16条第1項、則第17条第1項第1号

B：正 法第16条第1項、則第17条第1項第3号

C：誤 法第16条第1項、則第17条第1項第8号 「核セキュリティに必要な」注意事項ではな

く、「放射線障害の防止に必要な」注意事項。

D：誤 法第 16 条第 1 項，則第 17 条第 1 項第 2 号「遮蔽能力」ではなく、「貯蔵能力」。

問 14 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 50 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 表面に不要な突起物がなく，かつ，表面の汚染の除去が容易であること。
- D 運搬中に予想される温度及び内圧の変化，振動等により，き裂，破損等の生じるおそれがないこと。

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

〔解答〕

4

注）則第 18 条の 4（L 型輸送物に係る技術上の基準）

A：誤 則第 18 条の 4 第 7 号 5 マイクロシーベルト毎時を超えないこと。

B：誤 則第 18 条の 4 第 6 号 開封されたときに見やすい位置に「放射性」又は「RADIOACTIVE」の表示を有していること。

C：正 則第 18 条の 4 第 3 号

D：正 則第 18 条の 4 第 2 号

問 15 場所に係る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。

- A 下限数量に 1,000 を乗じて得た数量の密封された放射性同位元素のみを取り扱うとき，作業を開始した後，事業所内において人が居住する区域における放射線の量の測定は，6 月を超えない期間ごとに 1 回行った。
- B 作業を開始した後，貯蔵施設における放射線の量の測定は，1 月を超えない期間ごとに 1 回行った。
- C 下限数量に 1,000 を乗じて得た数量を超えた密封された放射性同位元素のみを移動して取り扱うとき，作業を開始した後，管理区域の境界における放射線の量の測定は，6 月を超えない期間ごとに 1 回行った。
- D 下限数量に 1,000 を乗じて得た数量を超えた密封された放射性同位元素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，作業を開始した後，事業所の境界における放射線の量の測定は，1 年を超えない期間ごとに 1 回行った。

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

〔解答〕

2

注）法第 20 条（測定）第 1 項，第 2 項，則第 20 条（測定）第 1 項

A：正 法第 20 条第 1 項，則第 20 条第 1 項第 4 号ハ

B：正 法第 20 条第 1 項，則第 20 条第 1 項第 3 号，第 4 号および同号イ

C：誤 法第 20 条第 1 項，則第 20 条第 1 項第 4 号ロ「移動して取り扱うとき」ではなく，「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」。なお，使用の基準では，使用后直ちに放射線測定器により点検することとなっている。

D：誤 法第20条第1項，則第20条第1項第4号ハ 6月を超えない期間ごとに1回行うこと。

問16 放射線障害予防規程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 許可使用者は，放射性同位元素の使用を開始する前に，放射線障害予防規程を作成し，原子力規制委員会に届け出なければならない。
- B 許可使用者は，放射線障害予防規程を変更しようとするときは，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 届出使用者は，放射線障害予防規程を作成し，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。
- D 届出使用者は，放射線障害予防規程を変更したときは，変更の日から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。

1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕

3

注) 法第21条（放射線障害予防規程），則第21条（検査業務規程の認可の申請）

- A：正 法第21条第1項
- B：誤 法第21条第3項 変更の日から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。
- C：誤 法第21条第1項 使用を開始する前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21条第3項

問17 届出使用者に関する教育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。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。

- A 放射線業務従事者に対する教育及び訓練は，初めて管理区域に立ち入る前及び管理区域に立ち入った後にあつては1年を超えない期間ごとに行うこと。
- B 取扱等業務に従事する者であつて，管理区域に立ち入らないものに対する取扱等業務を開始する前に行う教育及び訓練は，項目ごとに時間数が定められている。
- C 見学のため管理区域に一時的に立ち入る者に対する教育及び訓練は，当該者が立ち入る放射線施設において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施すこと。
- D 放射線業務従事者が初めて管理区域に立ち入る前に行う教育及び訓練の項目は，定められていない。

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22条（教育訓練），則第21条の2（教育訓練）

- A：正 則第21条の2第1項第2号
- B：正 則第21条の2第1項第3号
- C：正 則第21条の2第1項第5号
- D：誤 則第21条の2第1項第4号 教育訓練の項目及び項目ごとの時間数が定められている。

問18 放射線業務従事者の健康診断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 健康診断の結果は、年度ごとに、まとめて記録した。
- B 放射線業務従事者が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とした。
- C 健康診断の方法は、問診及び検査又は検診とした。
- D 健康診断を受けた者が許可使用者の従業者でなくなったので、健康診断の結果についての記録を原子力規制委員会が指定する機関に引き渡した。

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 23 条（健康診断）、則第 22 条（健康診断）

A：誤 則第 22 条第 2 項第 1 号 健康診断の都度記録する。

B：誤 則第 22 条第 1 項第 1 号、第 6 号ロ この場合も、皮膚の検査と血液検査は必ず行う。

C：正 則第 22 条第 1 項第 4 号

D：正 則第 22 条第 2 項第 3 号

問 19 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 ～ 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。

「許可届出使用者、表示付認証機器使用者、届出販売業者、届出賃貸業者及び許可廃棄業者が法第 24 条の規定により講じなければならない措置は、次の各号に定めるところによる。

(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、立入りの禁止、B 業務への配置転換等の措置を講じ、必要な C を行うこと。」

A	B	C
1 管理区域	放射線に被ばくするおそれの少ない	保健指導
2 放射線施設	放射線に被ばくするおそれの少ない	健康診断
3 管理区域	放射線に被ばくするおそれの少ない	健康診断
4 放射線施設	取扱等業務以外の	保健指導
5 管理区域	取扱等業務以外の	健康診断

〔解答〕

1

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 20 記帳に関する次の文章の A 及び B 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。

「2 法第 25 条第 1 項、第 2 項又は第 3 項の規定により許可届出使用者、届出販売業者、届出賃貸業者又は許可廃棄業者は、毎年 A 又は許可の取消しの日、使用若しくは販売、賃貸若しくは廃棄の業の廃止の日若しくは死亡、解散若しくは分割（法第 26 条の 2 第 1 項、第 2 項若しくは第 4 項から第 7 項まで又は第 26 条の 3 第 1 項の規定による承継がなかった場合に限る。）の日以前項に規定する帳簿を閉鎖しなければならない。

3 法第 25 条第 4 項の規定による帳簿の保存の期間は、前項に規定する帳簿の閉鎖後 B とする。」

	A	B
1	6月30日及び12月31日	3年間
2	12月31日	3年間
3	3月31日	3年間
4	3月31日	5年間
5	12月31日	5年間

〔解答〕

4

注) 則第24条（記帳）第2項、第3項

問21 次のうち、届出販売業者が備えるべき帳簿に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 保管を委託した放射性同位元素の種類及び数量
- B 放射性同位元素の受入れ又は払出しの年月日及び相手先の氏名又は名称
- C 放射性同位元素の保管の委託の年月日、期間及び委託先の氏名又は名称
- D 放射性同位元素の保管の期間、方法及び場所

1 ACDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 BDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕

3

注) 法第25条（記帳義務）第2項、則第24条（記帳）第1項

A：正 法第25条第2項、則第24条第1項第2号ニ

B：誤 法第25条第2項、則第24条第1項第2号ロ「受入れ又は払出し」ではなく、「譲受け又は販売その他譲渡し」。

C：正 法第25条第2項、則第24条第1項第2号ホ

D：誤 法第25条第2項、則第24条第1項第2号ホ「保管の方法」は、許可届出使用者の事項。

問22 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 密封された放射性同位元素のみを使用していたので、廃止の届出は行ったが、廃止の措置は講じなかった。
- B 放射線業務従事者の健康診断の記録を、当該記録の対象者のみに引き渡した。
- C 廃止の日に放射線取扱主任者に選任されていた者と同等以上の知識及び経験を有する者に廃止措置の監督をさせた。
- D 廃止措置計画に記載した措置が計画期間内に終了したので、遅滞なく、その旨及びその講じた措置の内容を原子力規制委員会に報告した。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕

5

注) 法第27条（使用の廃止等の届出）第1項、法第28条（許可の取消し、使用の廃止等に伴う措置等）、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2項、第3項、第4項

A：誤 法第28条第1項、則第26条第1項 廃止措置を講じる。

B：誤 則第26条第1項第9号 指定する機関に引き渡すこと。

C：正 則第 26 条第 1 項第 8 号イ、ロ

D：正 法第 28 条第 5 項，則第 26 条第 3 項，第 4 項

問 23 密封された放射性同位元素（表示付認証機器等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 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，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譲り受けることができる。
- B 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。
- C 届出使用者は，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日から 3 月後に，所有する放射性同位元素を他の届出使用者に譲り渡すことができる。ただし，譲り渡す放射性同位元素は，譲り受ける届出使用者の届け出た種類であり，かつ届け出た貯蔵施設の貯蔵能力の範囲内とする。
- D 届出賃貸業者は，その届け出た種類以外の放射性同位元素を，許可使用者に貸し付けることはできない。

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

〔解答〕

2

注）法第 29 条（譲渡し，譲受け等の制限），則第 27 条（譲渡しの制限）

A：正 法第 29 条第 1 号

B：正 法第 29 条第 3 号

C：誤 法第 29 条第 7 号，則第 27 条「3 月後」ではなく，「30 日以内」

D：正 法第 29 条第 2 号

問 24 事故届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。

「許可届出使用者等（表示付認証機器使用者及び表示付認証機器使用者から を委託された者を含む。）は，その所持する放射性同位元素について その他の事故が生じたときは，遅滞なく，その旨を警察官又は に届け出なければならない。」

A	B	C
1 運搬	破損，放射線障害の発生	原子力規制委員会
2 廃棄	破損，放射線障害の発生	海上保安官
3 運搬	破損，放射線障害の発生	海上保安官
4 廃棄	盗取，所在不明	原子力規制委員会
5 運搬	盗取，所在不明	海上保安官

〔解答〕

5

注）法第 32 条（事故届）

問 25 危険時の措置等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 放射線施設に火災が起こり，又は放射線施設に延焼するおそれのある場合には，消火又は延焼の防止に努めるとともに直ちにその旨を消防署に通報すること。
- B 放射線障害を受けた者又は受けたおそれのある者がいる場合には，速やかに救出し，避難させる等緊急の措置を講ずること。

- C 放射性同位元素を他の場所に移す余裕がある場合には、必要に応じてこれを安全な場所に移し、その場所の周囲には、縄を張り、又は標識等を設け、かつ、見張人をつけることにより、関係者以外の者が立ち入ることを禁止すること。
- D 放射線業務従事者が実効線量限度を超えて被ばくした場合には、健康診断を行い、放射線障害が確認されたときに限り、原子力規制委員会へ報告すること。
- 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) 法第33条（危険時の措置）、則第29条（危険時の措置）第1項、法第42条（報告徴収）第1項、則第39条（報告の徴収）第1項第8号
- A：正 則第29条第1項第1号
- B：正 則第29条第1項第3号
- C：正 則第29条第1項第5号
- D：誤 法第42条第1項、則第39条第1項第8号 実効線量限度を超えた被ばくがあった場合は、その旨を直ちに原子力規制委員会に報告する。

問26 次のうち、第2種放射線取扱主任者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 表示付認証機器届出使用者
- B 密封されていない放射性同位元素のみを販売する届出販売業者
- C 1個当たりの数量が20テラベクレルの密封された放射性同位元素のみを賃貸する届出賃貸業者
- D 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使用する許可使用者
- 1 ACDのみ 2 ABのみ 3 BCのみ 4 Dのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕

3

- 注) 法第3条の2（使用の届出）第1項、法第34条（放射線取扱主任者）
- A：誤 法第3条の2第1項 表示付認証機器を使用する者は許可届出使用者ではないため、主任者の選任は不要。
- B：正 法第34条第3号
- C：正 法第34条第3号
- D：誤 法第34条第1号 特定許可使用者となり、第1種放射線取扱主任者を選任する。

問27 定期講習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。

「法第36条の2第1項の原子力規制委員会規則で定める期間は、次の各号に掲げる者の区分に応じ、当該各号に定める期間とする。

- (1) 放射線取扱主任者であって放射線取扱主任者に選任された後定期講習を受けていない者（放射線取扱主任者に選任される前〔A〕以内に定期講習を受けた者を除く。）放射線取扱主任者に選任された日から〔B〕以内
- (2) 放射線取扱主任者（前号に掲げる者を除く。）前回の定期講習を受けた日から〔C〕（届出販売業者及び届出賃貸業者にあっては〔D〕）以内」

	A	B	C	D
1	1 年	1 年	3 年	5 年
2	6 月	6 月	3 年	5 年
3	1 年	6 月	5 年	3 年
4	6 月	1 年	5 年	3 年
5	1 年	1 年	5 年	3 年

〔解答〕

1

注）則第 32 条（定期講習）第 2 項第 1 号，第 2 号

問 28 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 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。
- B 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。
- C 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。
- D 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。

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 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），則第 33 条（放射線取扱主任者の代理者の選任等）

- A：誤 法第 37 条第 1 項 職務を遂行することができない期間中放射性同位元素の使用を行う場合は必ず代理者を選任しなければならない。
- B：誤 法第 34 条第 1 項，法第 37 条第 2 項 医師又は歯科医師が代理者となれるのは放射性同位元素を診療のために用いるときのみ。
- C：正 法第 37 条第 3 項，則第 33 条第 4 項
- D：正 法第 37 条第 3 項，則第 33 条第 4 項

問 29 報告の徴収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 許可使用者は，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。
- B 許可使用者は，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，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。

- C 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。
- D 表示付認証機器届出使用者は、放射線管理状況報告書を毎年4月1日からその翌年の3月31日までの期間について作成し、当該期間の経過後3月以内に原子力規制委員会に提出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〕

1

注) 法第42条（報告徴収）、則第39条（報告の徴収）

A：正 則第39条第1項第6号

B：正 則第39条第1項第7号

C：誤 則第39条第1項第1号「30日以内」ではなく、「10日以内」。

D：誤 則第39条第3項 表示付認証機器届出使用者は管理状況報告書の提出は不要。

問30 放射線業務従事者の一定期間内における線量限度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 皮膚の等価線量限度は、4月1日を始期とする1年間につき1,000ミリシーベルト
- B 眼の水晶体の等価線量限度は、4月1日を始期とする1年間につき500ミリシーベルト
- C 実効線量限度は、4月1日を始期とする1年間につき50ミリシーベルト
- D 実効線量限度は、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100ミリシーベルト

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕

5

注) 則第1条（用語の定義）第10号・第11号、平成12年10月23日科学技術庁告示第5号（放射線を放出する同位元素の数量等を定める件）第5条（実効線量限度）、第6条（等価線量限度）

A：誤 則第1条第11号、告示第5号第6条第2号「1000ミリシーベルト」ではなく、「500ミリシーベルト」。

B：誤 則第1条第11号、告示第5号第6条第1号「500ミリシーベルト」ではなく、「150ミリシーベルト」。

C：正 則第1条第10号、告示第5号第5条第2号

D：正 則第1条第10号、告示第5号第5条第1号

管 理 技 術 I

第 58 回 (平成 28 年)

問 1 次の I ～ III の文章の [] の部分に入る最も適切な語句を、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。

I 放射線の生物への影響は、様々な要因によって修飾される。放射線の線質もそのひとつで、光子や β 線のような低 LET 放射線に比べて、中性子線、 α 線、重粒子線などの高 LET 放射線では、細胞致死効果が [A] とされる。

細胞に同一線量の γ 線を、複数回分割照射、あるいは低線量率で長時間照射した場合は、高線量率で 1 回急照射した場合に比べて、照射の影響は、一般に [B]。このような線量率効果は、高 LET 放射線では、低 LET 放射線と比べて通常 [C] とされる。

生物影響は、[D] や温熱による増感効果あるいは防護剤による保護効果などによっても修飾される。これらの効果を考慮して、がんの放射線治療では、できるだけ低い線量でがん細胞を効率よく死滅させ、周囲の正常組織への副作用を小さくする試みがなされている。

また、照射部位も生じる影響の種類と大きさを考える上で重要な要因である。体幹部への被ばくでも [E] を被ばくしなければ、遺伝性 (的) 影響のリスクは小さく、10 Gy 程度の高線量でも手指への被ばくにとどまれば、落屑等が生じても致死的な障害がただちに起きることはない。

その他、動物種、系統、性、被ばく時の [F]、臓器・組織によるがんの発生率の差に加えて、様々なストレス要因やカロリー摂取量等も放射線発がんの感受性を左右する可能性があることが知られている。

< A ～ C の解答群 >

1 大きい 2 小さい 3 同じくらい

< D の解答群 >

1 水素 2 炭素 3 窒素 4 酸素

< E, F の解答群 >

1 甲状腺 2 生殖腺 3 肺 4 腎臓 5 年齢 6 体重 7 身長

II 放射線に被ばくした個人に現れる身体的影響は、線量及び線量率にもよるが、症状の発現時期によって、急性障害と晩発障害に分類される。

急性障害は、放射線に被ばく後短期間で現れる障害で、特に、[G] の場合に起きやすい。体幹部を含む全身が、 γ 線や [H] など透過性の高い放射線に被ばくした後、数週間以内に現れる臨床症状の総称を [I] といい、チェルノブイリ原発事故での事故処理緊急作業者等で発症例が報告されている。

[I] は、被ばく線量の大きさによって、現れる臨床症状が異なる。0.5～1 Gy 以上の γ 線被ばくでは [J] 等の減少による免疫機能低下や感染症等が、8～10 Gy 以上の被ばくでは腸粘膜上皮細胞の剥離による下痢、下血、脱水、敗血症等が、50 Gy 以上の被ばくでは、[K] の損傷による痙攣、見当識障害、運動失調、錯乱等がそれぞれ起きるとされている。

身体の一部を被ばくすると急性局所障害が起きる。皮膚では、一時的な が 3 Gy 以上の γ 線被ばくによって生じる。また、落屑などは 10 Gy 以上の被ばくで、^{せつ}糜爛、 などは 20 Gy 以上の被ばくで生じる。

< G の解答群 >

- 1 低線量率で低線量 2 高線量率で低線量 3 高線量率で高線量

< H, I の解答群 >

- 1 紫外線 2 α 線 3 β 線 4 中性子線 5 急性放射性毒性
6 急性放射線症

< J~M の解答群 >

- 1 リンパ球 2 線維芽細胞 3 内皮細胞 4 筋骨格系 5 中枢神経系
6 内分泌系 7 脱皮 8 脱毛 9 脱水 10 丘疹 11 潰瘍 12 ^{のう}膿瘍

Ⅲ 一方、晩発障害は、比較的低い線量の放射線を 1 回または複数回分割で、あるいは遷延被ばくした場合に、数ヶ月から数年、長いものでは数十年~数十年の潜伏期を経て現れる障害である。晩発障害には、 や固形がんの発症（発がん）以外に、白内障をはじめとして、心疾患、脳卒中、肺線維症などの非がん疾患がある。

非がん疾患のうち、とくに白内障は、眼の水晶体に起きる変性疾患であり、重要な放射線防護の対象のひとつである。水晶体は細胞組織であり、その前面を覆う上皮細胞層にはが含まれ、生涯を通じて分裂して新しい細胞が作られ、これが水晶体赤道とよばれる部位に移動するに従い、細胞核が抜けて、クリスタリンを含む透明な水晶体線維となって赤道へ集積していく。

このは放射線感受性がため、被ばくすると変性・死滅して膨化し、水晶体後部（後極）に移動して、乳白色のを生じ、視力が低下して白内障になる。 γ 線や被ばくの場合、0.5 Gy 以上で検出可能なを生じ、線量率によらず白内障に進行すると考えられている。

また、被ばく後白内障が現れるまでの潜伏期は、半年から 35 年（平均して数年）程度と長いが、被ばく線量が高くなるほど短く、症状の程度を示す重篤度も増す。分割または長期間の慢性被ばくでは潜伏期は長く、重篤度は。

< N~P の解答群 >

- 1 血小板減少 2 白血病 3 ^{のう}嚢胞性線維症 4 再生系 5 非再生系
6 条件的再生系 7 成熟細胞 8 幹細胞 9 分化細胞

< Q~S の解答群 >

- 1 高い 2 低い 3 結節 4 混濁 5 石灰化 6 黄斑
7 紫外線 8 X 線

< T の解答群 >

- 1 大きくなる 2 小さくなる 3 変わらない

〔解答〕

I - 1 - 2 - 2 - 4 - 2 - 5

注) A~D: LET (線エネルギー付与) は、放射線が物質を通過する際に、その飛跡に沿った単位長さ当たりに物質に与えられるエネルギーを示す。一般に、中性子線、 α 線、重粒子線などの高 LET 放射線では電離密度が高く、生体高分子が直接に作用を受けて多数の損傷を生じるために致死効果が高くなる。そのため、高 LET 放射線の場合、低 LET 放射線では認められるような損傷からの回復が起こりにくい。例えば、分割照射の際の各照射終了から次の照射開始まで

の間における回復や、低線量率での長時間照射における照射中の回復が起こりにくい。

一方、低 LET 放射線による生物影響では間接作用の寄与が大きく、電離密度も小さいため、水から生じたラジカルが酸素との反応によってさらに有害性の高いラジカルを生じたり、高分子ラジカル（損傷）が酸素により固定化されたりすることが原因と考えられる酸素効果が認められる。酸素のような増感作用が認められる物質に対し、SH 基を持つシステインやシステアミンなどの化合物では、ラジカルを除去することにより生物作用を軽減する防護効果が認められている。（問5のⅡの注も参照されたい。）

E：放射線は、体細胞と生殖細胞のいずれの細胞にも突然変異を引き起こすが、遺伝的な影響のリスクが生じるのは子孫に遺伝情報を伝える生殖細胞に変異が誘発された場合のみである。

F：放射線によって誘発されるがんの発生率は、臓器・組織により異なるほか、性別や被ばく時の年齢によっても異なり、一般に、被ばく時の年齢が若いほど発がん率が高い。

Ⅱ G - 3 H - 4 I - 6 J - 1 K - 5 L - 8
M - 11

注) 大量の放射線を短時間に全身に被ばくした後、数週間以内にあらわれる臨床症状を総称して急性放射線症という。その知見は核施設における事故、原爆の被爆、放射線治療における事故などから得られたものであり、その教訓は生かされなければならない。

J：造血系（骨髄）の障害が原因であり、さらに被ばく線量が高まると、感染や血小板の減少による出血などが原因となって死に至るリスクが高まる。

K：中枢神経系における血管障害による脳浮腫が原因と考えられている。

Ⅲ N - 2 O - 4 P - 8 Q - 1 R - 4 S - 8
T - 2

注) 白血病及び固形がんは確率的影響であり、また、被ばくしてから長い年月を経てから発症する晩発障害である。晩発障害には、白内障や再生不良性貧血などの確定的影響（組織反応）もある。

白内障とは、眼のレンズの役目をする水晶体に混濁を生じ、その混濁の程度が視力障害を伴うまでに進行した状態のものをいう。水晶体前面の上皮細胞は幹細胞であり、生涯を通じてゆっくりと分裂している。そのため、放射線に対する感受性が高い。細胞分裂により作られた細胞は、核を失いつつ水晶体の中へ移動し、透明性を保った繊維状の組織を形成する。加齢や疾病によってこの過程が正常に進行しなくなると混濁が生じるようになる。老人性白内障の場合には水晶体赤道周辺から混濁が始まるのに対し、放射線によって誘発される白内障の場合には、被ばくによって障害を受けて脱落した上皮細胞が後極の方に集まるので、後極から濁り始める。したがって、発症からの経過を観察すれば両者を区別することは可能であるが、進行後ではその区別は困難となる。

問2 気体の電離を利用した放射線検出器に関する次の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。

Ⅰ 電離放射線が気体中を通過すると、気体分子が電離されて、多数の電子－イオン対を生じる。また、この空間に電場があると、電子と陽イオンがそれぞれ電極へ向かって移動し、回路に電流が流れる。印加電圧を上げると次第に、電子と陽イオンが A をする割合の低下により電流は増大するが、ある電圧以上では飽和して電流がほぼ一定となる領域が現れる。この領域で作動する放射線検出器を B という。個々の放射線により生じる電流は微少であるが、多数の放射線による電流を測定することで、空間の放射線場の強度を知ることができる。

電極間の電位差がある値以上になると、電極に向けて加速された電子が気体分子に衝突した際に、

これを電離するようになる。電離で生じた二次電子もまた加速されるため、電子数は指数関数的に増大し(電子なだれ)、入射イベント毎に大きなパルス信号が生成される。このパルスの高さは、入射した放射線により最初に生成された電子-イオン対の数に比例する。この領域で作動する放射線検出器を〔C〕という。パルス波高分析により、低エネルギー X 線等のスペクトルが得られる。

これよりも更に高い電圧では、更に大きな信号が得られるが、パルスの高さで最初に生成した電子-イオン対の数との比例関係が崩れ始め、やがて無関係となる。この領域で作動する放射線検出器を〔D〕という。この検出器では、電子なだれに付随して発生する〔E〕が引き金となって、検出器内の他の部分に新たな電子なだれが引き起こされる。この電子なだれの連鎖を制御し、短時間で放電を収束させるために、一般的に、アルコール等の有機分子や塩素等のハロゲン成分とする〔F〕が添加されている。この検出器はサーバイメータなどとして、広く用いられている。

< A～D の解答群 >

- 1 再結合 2 反発 3 ブラウン運動 4 分離 5 GM 計数管
6 OSL 線量計 7 霧箱 8 光電子増倍管 9 スパークチェンバー
10 マルチチャンネル波高分析器 (MCA) 11 電離箱 12 比例計数管

< E, F の解答群 >

- 1 空孔 2 紫外線 3 チェレンコフ光 4 ドブロイ波 5 フリーラジカル
6 陽電子 7 クエンチングガス 8 減速材 9 スカベンジャー 10 ドーパント

II 〔D〕の使用には、印加電圧の適切な選択が必要である。印加電圧を徐々に上げてゆき、1,000 V 程度にある開始電圧を超えると、計数率が急激に増大する。その後、数百ボルト程度の幅がある〔G〕領域があり、この領域内では計数率の電圧依存性が小さい。ここから更に電圧を上げると、連続放電が発生して使用に適さなくなる。この検出器は〔G〕領域で用いるが、領域内でも、印加電圧が比較的高いとアルコール等の〔F〕の消費が激しく、検出器の製品寿命が縮まる。一方で、電圧が低すぎると動作が安定しない。このため、〔G〕領域のうち、低い方から概ね 1/3 程度の電圧での使用が適切である。

次の注意点は、他の放射線検出器に比べても長い〔H〕の存在である。電子なだれが発生すると、移動速度の遅い陽イオンが芯線を包み込む鞘まやのような形で取り残され、これが解消されるまで芯線付近の電場強度が低下する。このため、パルスを発生してから 0.1 ms 程度の間、検出器は感度を失う。

ここで、ある 1 秒間に検出器に入射した放射線の数 n_0 とし、このときの計数率を n ($n_0 \geq n$) cps とする。装置の〔H〕が τ 秒ならば、検出器が感度を失っていた時間は 1 秒のうち〔ア〕秒であるから、 n_0 と n の関係は、 $n_0 =$ 〔イ〕である。なお、感度が回復した後に入射した放射線は、確実に検出されるものとしている。

ただし、この補正式で妥当な n_0 を推定できるのは、検出器が感度を失っていた時間が全体の 20～30% となる程度の計数率までである。また、これよりも更に強い放射線場においては、逆に計数率が低下することがある。これを〔I〕現象といい、放射線管理上、注意が必要である。このため、線源から十分に離れた位置から測定を始め、計数率を確認しながら、少しずつ検出器を線源に近づけるようにする。

< G～I の解答群 >

- 1 アンダーシュート 2 インピーダンス 3 ウィンドウ幅 4 ガス増幅
5 逆バイアス 6 空乏 7 弾道欠損 8 窒息 9 プラトー 10 分解時間
11 ベースライン 12 臨界 13 RC 回路時定数

<ア、イの解答群>

- 1 $n\tau$ 2 $\frac{n}{\tau}$ 3 $1-n\tau$ 4 $1+n\tau$ 5 $\frac{1}{n\tau}$ 6 $\frac{1}{1-n\tau}$ 7 $\frac{1}{1+n\tau}$
- 8 $\frac{n}{1-n\tau}$ 9 $\frac{n}{1+n\tau}$ 10 $\frac{n\tau}{1+n\tau}$

Ⅲ D を用いた検出器の入射窓を、点状の純 β 線源に向けて一定の距離に設置し、線源の放射能 S [Bq] を求めたい。ここで、立体角で決まる幾何学的効率を G 、H の補正係数を f_t 、空気と計数管の窓による吸収を補正する係数を f_a 、後方散乱係数を f_b 、線源自身による自己吸収係数を f_s とすると、計数率 n [cps] は近似的に、

$$n = SGf_t f_a f_b f_s$$

と表される。なお、検出器とは異なる方向に放出された β 線が後方散乱して検出器に入射する影響は、散乱体の原子番号が高いほどJ、また β 線のエネルギーが高いほどK なる。

線源を計測したところ、計数率 n は 650 cps であった。このとき、 $\tau = 1.0 \times 10^{-4}$ 秒とすると、数え落としの割合は 6.5% であり、数え落としを補正した計数率 n_0 は 700 cps である (表 1)。また、この計測において $Gf_a f_b f_s = 0.017$ とすると、線源の放射能 S はウ kBq と推定される。

次に、線源と検出器の間に、薄いアルミ板を挿入すると、計数率は 480 cps となった。このとき、数え落としの割合はエ % であり、数え落としを補正した計数率はオ cps である。また、このアルミ板を取り出してから、このアルミ板の 3.7 倍の厚さがある別のアルミ板を挿入した場合には、数え落としを補正した計数率 n_0 の期待値はカ cps である。

なお、この β 線が遮蔽体を透過する際に、その強度はアルミ板の厚さに対して指数関数的に減少するものとする。つまり、横軸 (線形) にアルミ板の厚さを、縦軸 (対数) に n_0 をとり片対数プロットをすると、両者の関係はL となる。また、バックグラウンドの計数率は十分に低く、無視できるものとする。

なお、必要に応じて、次頁に印刷された片対数グラフを利用せよ。

表 1

アルミ板の厚さ (任意単位)	0 (なし)	1.0	3.7
計数率 [cps]	650	480	
数え落としの割合 [%]	6.5	エ	
数え落としを補正した計数率 [cps]	700	オ	カ
S の推定値 [kBq]	ウ		

<J~Lの解答群>

- 1 大きく 2 小さく 3 上に凸の曲線 4 直線 5 下に凸の曲線

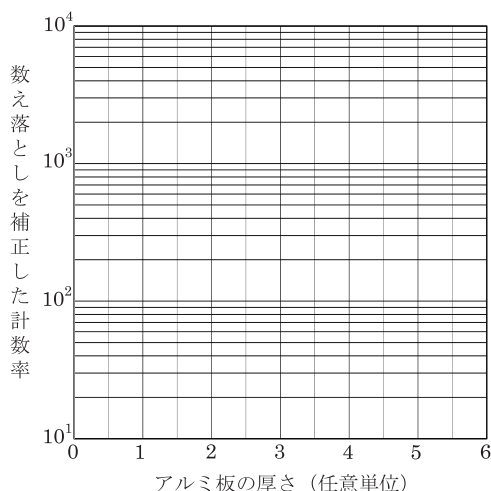
<ウ、エの解答群>

- 1 0.48 2 4.1 3 4.8 4 5.0 5 6.5 6 7.0 7 12 8 41
- 9 120 10 500

<オ、カの解答群>

- 1 100 2 150 3 200 4 250 5 300 6 350 7 400 8 450
- 9 500 10 550 11 600 12 650 13 700 14 750 15 800

片対数グラフ



〔解答〕

I **A** - 1 **B** - 11 **C** - 12 **D** - 5 **E** - 2 **F** - 7

注) 気体中に陰陽の 2 つの電極を置き放射線を入射させると、電離により生じた電子と陽イオンはそれぞれの電極に集められ、外部回路に電流が流れる。電離電流の大きさから吸収線量や照射線量がわかり、また、電流または電圧パルスの計数から入射した荷電粒子の数を知ったり、パルスの大きさから荷電粒子のエネルギーを知ったりすることができる。

A : 【イオン再結合領域】電極間の電位差が低いときには、生じた電子と陽イオンの移動速度は遅く、イオン対の一部が電極に到達するまでに再結合を起こして中性分子に戻るため、収集されるイオン対の数は少ない。印加電圧が高くなるとともに、再結合をする割合が低下するので、電流は増大する。

B : 【電離箱領域】印加電圧がある程度高くなると、収集されるイオン対の数が飽和し、電圧とは無関係に一定となる領域が現れる。この領域では電離により生じた一次イオン対が再結合することなくほぼ 100% 電極へ収集されたものと解釈できる。電離箱はこの領域で作動させる。

C : 【比例領域】さらに印加電圧が高くなると、電極に向けて加速された電子が気体分子を電離するようになり、生じた二次電子がさらなる電離を引き起こすというように、次々と多数の電離が生じ、電子数は指数関数的に増大する。このような現象を電子なだれという。この電圧領域では、パルス波高は最初に生成された電子-イオン対の数に比例する。比例計数管はこの領域で作動させる。

D : 【GM 領域】さらに電圧が高くなると、きわめて多くの電子なだれが発生する。その結果、移動速度の小さい陽イオンが中心電極の周辺に雲のように残り、それが管内の電界分布を変え増幅作用に影響を与えるため、パルス波高と最初に生成された電子-イオン対の数との比例性が崩れはじめ、やがて無関係になる。GM 計数管はこの領域で作動させる。

E, F : 電子なだれとともに紫外線が放射され、これが引き金となって新たな電子なだれが引き起こされる。この電子なだれの連鎖を抑制し、短時間で放電を収束させるために、クエンチングガス（消滅ガス）を数% 添加する方法がある。クエンチングガスには有機ガス（エタノール、ギ酸エチル等）あるいはハロゲンガス（塩素、臭素等）が使用される。

II G - 9 H - 10 I - 8 ア - 1 イ - 8

注) G: GM 計数管の開始電圧は通常 1,000 V 程度であり, その電圧を超えると計数率が急激に増大する。その後, 印加電圧を増加しても計数率がほとんど変化しない領域がある。この領域をプラトーという。

H: 放射線が GM 計数管に入射してパルスが発生した後, 低下した芯線付近の電場強度が回復し始め, 次に入射した放射線の計数が可能になるまでに要する時間を分解時間という。GM 計数管の分解時間は他の実用的な計数管と比べて長く, 数え落としの原因となる。

I: GM 計数管では, 計数率が高くなると数え落としが急激に増える。さらに計数率が高くなると窒息現象が起こり, 計数率が低下あるいは全く計測しなくなる。

ア: ある 1 秒間に検出器が感度を失っていた時間は, 分解時間 τ [s] $\times$ 計数率 n [cps] である。

イ: 検出器の感度が回復していた時間は 1 秒のうち $(1 - n\tau)$ 秒であるから, n_0 と n の関係は $n = n_0(1 - n\tau)$ となる。よって, $n_0 = n / (1 - n\tau)$ である。

III J - 1 K - 1 L - 4 ウ - 8 エ - 3 オ - 9
カ - 3

注) J, K: 後方散乱係数 f_b の値は散乱体の原子番号が高いほど大きく, 数百 keV 程度までの領域では β 線のエネルギーが高いほど大きくなる。

ウ: n_0 と n の関係式 $n = n_0(1 - n\tau)$ より, 分解時間の補正係数 $f_\tau = 1 - n\tau$ である。

よって, $f_\tau = 1 - 0.065 = 0.935$

したがって, $S = n / (Gf_\tau f_a f_b f_s) = 650 / (0.017 \times 0.935) = 40,893$ [Bq] $\div 41$ [kBq] となる。

エ: 数え落としの割合は $n\tau$ なので,

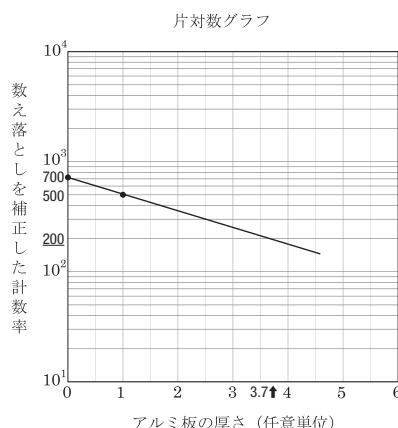
$$n\tau = 480 \times 1.0 \times 10^{-4} = 0.048$$

したがって, 4.8% である。

オ: 設問 II のイで得られた関係式 $n_0 = n / (1 - n\tau)$ より

$$n_0 = 480 / (1 - 0.048) = 504 \div 500$$
 [cps] である。

L, カ: 問題文に「この β 線が遮蔽体を透過する際に, その強度はアルミ板の厚さに対して指数関数的に減少するものとする」ことが示されているので, 片対数グラフでは直線となる。問題用紙に印刷された片対数グラフを利用すると, 3.7 倍の厚さがある場合の数え落としを補正した計数率 n_0 の期待値は 200 cps である。



問 3 次の I ~ III 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。

I ある事業所では, ^{137}Cs 密封線源 (100 MBq) 1 個だけを所有し, 使用室内に備え付けられている貯蔵箱 (鉛厚さ 3 cm) に保管している。線源を使用する際には, ピンセット等の操作器具を用いて貯蔵箱から取り出して, 使用室内の中央辺りの所定の位置に設置して使用している。使用室はコンクリート製の壁及び天井 (厚さ 10 cm) で囲まれており, 管理区域の境界はコンクリート外壁面である。貯蔵箱内の線源と管理区域の境界までの最短距離は 1 m, 線源使用時の所定位置から管理区域の境界までの最短距離は 3 m とし, 両者が同一の地点であるとして, 線量評価を行う。

ここで, 作業者の 1 週間当たり最大となる実効線量, 及び管理区域の境界における 3 月間の実効線量を次の表の値を用いて評価した。

線源	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		1 週間当たりの線源最大 使用時間 [h]	作業者から線源 までの距離 [m]	
		鉛 3 cm	コンクリート 10 cm		使用時	保管時
^{137}Cs	7.8×10^{-2}	5.0×10^{-2}	6.4×10^{-1}	15	0.5	0.5

なお、線源の使用時以外は貯蔵箱内で保管しているものとし、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 h、管理区域の境界においては 3 月間につき 500 h とする。また、線源使用時の実効線量の評価においては、貯蔵箱による遮蔽効果は無視する。散乱線の影響は考えないものとする。

線源の使用時と保管時における作業者の 1 時間当たりの実効線量を評価すると、使用時及び保管時は、それぞれ $\boxed{\text{A}}$ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 及び $\boxed{\text{B}}$ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ となり、保管時よりも使用時の方が高くなる。このため、作業者の 1 週間当たり最大となる実効線量は、線源の使用時間を 15 h、保管時間を 25 h として評価すると、 $\boxed{\text{C}}$ 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 $\boxed{\text{ア}}$ μSv を超えない。

次に、線源の使用時と保管時における管理区域の境界における 1 時間当たりの実効線量を評価すると、使用時及び保管時は、それぞれ $\boxed{\text{D}}$ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 及び $\boxed{\text{E}}$ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ となり、保管時よりも使用時の方が高くなる。このため、管理区域の境界における 3 月間当たり最大となる実効線量は、線源の使用時間を 195 h、保管時間を 305 h として評価すると、 $\boxed{\text{F}}$ 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 $\boxed{\text{イ}}$ μSv を超えない。

< A～C の解答群 >

- | | | | | | | | | | |
|----|---------------------|----|---------------------|----|---------------------|----|------------------|----|------------------|
| 1 | 1.9×10^{-2} | 2 | 1.0×10^{-1} | 3 | 3.2×10^{-1} | 4 | 1.6×10^0 | 5 | 5.8×10^0 |
| 6 | 9.8×10^0 | 7 | 3.1×10^1 | 8 | 4.3×10^1 | 9 | 7.2×10^1 | 10 | 8.6×10^1 |
| 11 | 2.2×10^2 | 12 | 5.1×10^2 | 13 | 7.4×10^2 | 14 | 1.3×10^3 | 15 | 2.5×10^3 |

< ア、イの解答群 >

- | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---|-------|----|-------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-------|
| 1 | 1.0 | 2 | 2.5 | 3 | 50 | 4 | 250 | 5 | 300 | 6 | 500 | 7 | 1,000 |
| 8 | 1,300 | 9 | 2,500 | 10 | 3,000 | | | | | | | | |

< D～F の解答群 >

- | | | | | | | | | | |
|----|---------------------|----|---------------------|----|---------------------|----|---------------------|----|---------------------|
| 1 | 2.4×10^{-2} | 2 | 6.3×10^{-2} | 3 | 2.5×10^{-1} | 4 | 3.6×10^{-1} | 5 | 5.5×10^{-1} |
| 6 | 1.8×10^0 | 7 | 3.2×10^0 | 8 | 5.6×10^0 | 9 | 7.4×10^0 | 10 | 1.9×10^1 |
| 11 | 4.2×10^1 | 12 | 7.3×10^1 | 13 | 1.9×10^2 | 14 | 2.5×10^2 | 15 | 4.3×10^2 |

II I に基づく評価から分かるように、線量限度等に対して裕度があるため、1 週間当たりの線源最大使用時間の変更を検討する。現在の 15 h から 40 h に変更した場合、作業者の 1 週間当たり最大となる実効線量は、 $\boxed{\text{G}}$ μSv となり、法令で定める人が常時立ち入る場所における線量限度を超える。

可能な限り使用時間を延長しようとした場合、最大 $\boxed{\text{H}}$ h までであれば、法令で定める人が常時立ち入る場所における線量限度及び管理区域の設定に係る実効線量を超えずに使用できる。

< G の解答群 >

- | | | | | | | | | | |
|---|------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|
| 1 | 8.2×10^1 | 2 | 4.1×10^2 | 3 | 5.9×10^2 | 4 | 1.1×10^3 | 5 | 1.3×10^3 |
|---|------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|

< H の解答群 >

- | | | | | | | | | | |
|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|
| 1 | 20 | 2 | 24 | 3 | 27 | 4 | 31 | 5 | 36 |
|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|

Ⅲ ^{137}Cs 密封線源を使用室内で頻繁に使用、保管を繰り返しながら使用する場合の取扱い時における安全対策について考える。外部被ばく防護の三原則には、時間による防護、 I による防護、 J による防護がある。線源の持ち運びを手早く行い、その時間をできるだけ短くするのが、時間による防護である。線源を頻繁に持ち運ぶ必要がある場合、 I による防護は、作業者が装着する一般的な防護具である K による場合が多いが、 ^{137}Cs 線源から放出される γ 線のエネルギーが高いため、得られる防護効果が小さい。そのため、線源の持ち運びに L などを用いる“ J による防護”の方が効果的である。

一方、 K による防護が有効な核種としては、 M などが挙げられる。

密封線源であっても、その取扱いによっては密封カプセルが破損する可能性もあることから、線源の密封性が損なわれていないことを確認するため、定期的に外観検査や N 検査を行うことが望ましい。 ^{137}Cs 線源が破損した場合、 γ 線だけでなく、 O も放出することから、測定器には O に対する感度の高い P 式サーベイメータを用いるのがよい。一般的な N 検査の方法としては、測定対象に検出器を Q させて測定する直接測定法と、測定対象を R などでふき取り、その試料を測定する間接測定法がある。密封カプセル内部から放出される γ 線の影響を避ける目的から、後者の方法が主に用いられる。

< I～L の解答群 >

- 1 距離 2 除染 3 鉛入り防護エプロン 4 ゴム手袋 5 時間
6 半面マスク 7 吸入防止 8 遮蔽 9 防護メガネ 10 閉じ込め
11 養生シート 12 トング

< M の解答群 >

- 1 ^{22}Na 2 ^{60}Co 3 ^{226}Ra 4 ^{241}Am 5 ^{252}Cf

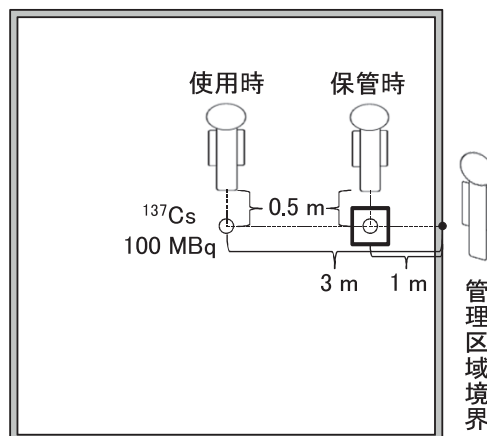
< N～R の解答群 >

- 1 電離箱 2 NaI(Tl)シンチレーション 3 ZnS(Ag)シンチレーション
4 GM 管 5 α 線 6 β 線 7 中性子線 8 接触 9 重量
10 近接 11 輝尽 12 汚染 13 感度 14 硫酸紙 15 スミアろ紙

[解答]

- I A - 7 B - 4 C - 12 ア - 7 イ - 8 D - 5
 E - 3 F - 13

設問 I のイメージ図を
右に示す。



注) 1 時間当たりの実効線量 $[\mu\text{Sv/h}]$

= 実効線量率定数 $[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times$ 線源の放射能 $[\text{MBq}] \div$ 線源からの距離の 2 乗 $[\text{m}^2] \cdots (1)$

A : 使用時での 1 時間当たりの実効線量は, ^{137}Cs の密封線源 (100 MBq), 作業員から線源までの距離 0.5 m とするので, (1) 式より,

$$7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times 100 [\text{MBq}] \div 0.5^2 [\text{m}^2] = 31.2 \div 3.1 \times 10^1 [\mu\text{Sv/h}]$$

B : 貯蔵箱保管時での 1 時間当たりの実効線量は, 線源からの距離は設問 A と同じであるが, 貯蔵箱の鉛遮蔽によって透過率が下がるため, 実効線量透過率 5.0×10^{-2} をかける必要がある。

$$(7.8 \times 10^{-2}) \times 100 \div 0.5^2 \times (5.0 \times 10^{-2}) = 1.56 \div 1.6 \times 10^0 [\mu\text{Sv/h}]$$

C : 設問 A, B で得られた 1 時間当たりの実効線量に, それぞれの 1 週間当たりの使用時間と保管時間をかけて合算する。

$$(3.1 \times 10^1 \times 15) + (1.6 \times 10^0 \times 25) = 465 + 40 \div 5.1 \times 10^2 [\mu\text{Sv}]$$

D : 線源使用時の所定位置から管理区域の境界までの最短距離は 3 m, 管理区域境界のコンクリート外壁厚さ 10 cm の実効線量透過率 6.4×10^{-1} より, 設問 B と同様に解く。

$$(7.8 \times 10^{-2}) \times 100 \div 3^2 \times (6.4 \times 10^{-1}) = 0.554 \cdots \div 5.5 \times 10^{-1} [\mu\text{Sv/h}]$$

E : 貯蔵箱内の線源と管理区域の境界までの最短距離は 1 m, コンクリート外壁のほか, 鉛遮蔽分の実効線量透過率をかけて, 設問 B と同様に解く。

$$(7.8 \times 10^{-2}) \times 100 \div 1^2 \times (6.4 \times 10^{-1}) \times (5.0 \times 10^{-2}) = 0.2496 \div 2.5 \times 10^{-1} [\mu\text{Sv/h}]$$

F : 設問 D, E で得られた 1 時間当たりの実効線量に, それぞれの 3 月間当たりの使用時間と保管時間をかけて合算する。

$$(5.5 \times 10^{-1} \times 195) + (2.5 \times 10^{-1} \times 305) = 107.25 + 76.25 \div 110 + 76 \div 1.9 \times 10^2 [\mu\text{Sv}]$$

ア : 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 mSv/週。

イ : 管理区域の設定において, 外部放射線に係る線量については, 実効線量が 1.3 mSv/3月。

II G - 5 H - 4

G : 設問 A で得られた 1 時間当たりの実効線量 $3.1 \times 10^1 \mu\text{Sv/h}$ で, 40 時間作業した場合,

$$(3.1 \times 10^1) \times 40 = 1240 [\mu\text{Sv}] \text{ で, これは設問アの線量限度 } 1 \text{ mSv/週を越える。}$$

H : 1 mSv を超過しないよう, 使用時間を x 時間とすると次式で表せる。

$$(3.1 \times 10^1) \times x + (1.6 \times 10^0) \times (40 - x) < 1000 \text{ より, } x < 31.8$$

よって選択肢より最も近い値は 31 h となる。

III I - 8 J - 1 K - 3 L - 12 M - 4 N - 12
O - 6 P - 4 Q - 10 R - 15

I, J : 外部被ばく防護の三原則「遮蔽・距離・時間」。

K, L : 市販の鉛入り防護エプロンの鉛としての厚さは 1 mm 未満であり, エネルギーの高い γ 線に対する遮蔽効果はきわめて小さい。このような場合には, 数十 cm の長さのトンクを用いて距離をとった方が距離の逆 2 乗則により, 被ばく防護の効果が高くなる。

M : ^{241}Am の γ 線エネルギーは 0.0595 MeV。低エネルギー γ 線源として利用される。

O : ^{137}Cs は β^- 壊変し, $^{137\text{m}}\text{Ba}$ から γ 線を放出する。

P : 選択肢中, 設問 O の β 線に対する感度が高いサーベイメータは GM 管式である。

N, Q, R : 測定対象がサーベイメータでは届かない場所や容器の場合にも, トンクやピンセットを併用することで, スミアろ紙でサンプリングを行い測定することができる。汚染には, 固着性汚染と遊離性汚染があり, スミア法は遊離性汚染の検査に適するが, 測定対象の材質によりふき取り効率を考慮する必要がある。

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 非破壊検査装置に利用されている放射性同位元素の 1 つ ^{192}Ir は、約 95% の割合で [A] 壊変して原子番号 78 の ^{192}Pt になり、約 5% の割合で [B] 壊変して原子番号 76 の ^{192}Os になる。このように、1 つの核種が複数の経路で壊変する形式を [C] 壊変といい、各々の壊変の部分壊変定数をそれぞれ λ_A 、 λ_B としたとき、全壊変定数は、[D] で表される。

^{192}Ir の壊変に伴って放出される主な光子（放出割合 1% 以上）は、エネルギーが 80 keV 以下の [E] の特性 X 線、及び [F] MeV の範囲の γ 線である。この理由により、 ^{192}Ir を装備した非破壊検査装置は、 ^{60}Co を装備したものと比べ、[G] 対象物の検査に適している。

< A, B の解答群 >

1 α 2 β^- 3 β^+ 4 γ 5 EC

< C, D の解答群 >

1 系列 2 逐次 3 複式 4 分岐 5 $\lambda_A + \lambda_B$ 6 $0.95\lambda_A + 0.05\lambda_B$

7 $\frac{\lambda_A}{0.95} + \frac{\lambda_B}{0.05}$ 8 $\frac{1}{\lambda_A} + \frac{1}{\lambda_B}$ 9 $\left(\frac{1}{\lambda_A^2} + \frac{1}{\lambda_B^2} \right)^{0.5}$

< E～G の解答群 >

1 Ir 2 Ir と Os 3 Ir と Pt 4 Os と Pt 5 0.08～0.16 6 0.20～0.62

7 0.68～1.2 8 1.2～2.5 9 薄い 10 ほぼ同じ厚さの 11 厚い

II 370 GBq の ^{192}Ir を装備した非破壊検査装置を、一時的に事業所外で使用するため、事業所外の使用の場所まで運搬したい。この装置は、[H] 型輸送物に該当しているため、[I] 率の最大値が、放射性輸送物表面で $2 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ を超えないこと、及び放射性輸送物表面から 1 m 離れた位置で [ア] $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ を超えないこと、という法令上の技術的基準が適用される。

事業所外の使用の場所において、管理区域境界の実効線量が法令で定める値を超えないようにするために、照射（撮影）時間、照射回数、線源格納時の線量等を考慮し、照射時の管理区域境界での実効線量率を、 $110 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 以下にしたい。この場合、少なくとも照射時の線源の位置から [イ] m 離れた位置を管理区域境界に設定する必要がある。ただし、 ^{192}Ir の実効線量率定数を $0.117 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ とし、周囲の構造物等による光子の吸収・散乱は無視し得るものとする。

γ 線用サーベイメータの中で、感度が最も高いものは [J] 式サーベイメータであり、一方、原理的にエネルギー依存性の最も小さいものは [K] 式サーベイメータである。照射時のように線量率が比較的高い場合、管理区域境界や人が常時立ち入る場所の [I] 率の測定には、後者が一般的に用いられる。

サーベイメータでは指示値をメータの針で表示するものが多い。線量率の変化に対し指示値の追従が遅れることに注意が必要である。時定数 10 秒で測定しているとき、ほぼゼロであった指示値が、 ^{192}Ir 線源を容器から送り出した瞬間から 5 秒後に $20 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ に上昇したとする。十分な時間経過した後の指示値はおおよそ [ウ] $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ になると推定される。ただし、線源-サーベイメータ間の距離の変化は無視し得るものとし、 $e^{0.5} = 1.65$ とする。

< H, I の解答群 >

1 A 2 BM 3 IP-1 4 L 5 70 μm 線量当量 6 3 mm 線量当量

7 1 cm 線量当量 8 照射線量

< ア～ウの解答群 >

1 10 2 20 3 30 4 40 5 50 6 60 7 80 8 100

9 110 10 130 11 140 12 150 13 160 14 180 15 200
 < J, K の解答群 >

- 1 GM 管 2 NaI(Tl) シンチレーション 3 ZnS(Ag) シンチレーション 4 電子
 5 電離箱 6 比例計数管

Ⅲ II で述べた事業所では、作業者の外部被ばくに係る個人モニタリングに、蛍光ガラス線量計、及び必要に応じてアラーム機能付電子式個人線量計を用いている。蛍光ガラス線量計では、一般的に 1 個の線量計で 1 cm 線量当量と $\boxed{\text{L}}$ の 2 つの量が測定され、前者より $\boxed{\text{M}}$ が、後者より $\boxed{\text{N}}$ の等価線量が算定される。 $\boxed{\text{O}}$ の等価線量については、一般的に、1 cm 線量当量と $\boxed{\text{L}}$ のうち適切な方とされる。また、 $\boxed{\text{P}}$ の等価線量は、1 cm 線量当量により算定される。

< L, M の解答群 >

- 1 70 μm 線量当量 2 3 mm 線量当量 3 預託実効線量 4 空気吸収線量
 5 実効線量 6 照射線量

< N~P の解答群 >

- 1 甲状腺 2 妊娠中の女子の腹部 3 眼の水晶体 4 皮膚 5 乳房

[解答]

- I $\boxed{\text{A}}$ - 2 $\boxed{\text{B}}$ - 5 $\boxed{\text{C}}$ - 4 $\boxed{\text{D}}$ - 5 $\boxed{\text{E}}$ - 4 $\boxed{\text{F}}$ - 6
 $\boxed{\text{G}}$ - 9

注) A, B : ^{192}Ir は非破壊検査やがん治療などに使われている核種である。よく利用される核種の特性は覚えておく方がよいが、本問に関しては次のように考えることで適切な選択肢を選ぶことができる。原子番号 (陽子数) が 76 及び 78 の元素に壊変するという情報から、Ir の原子番号は 77 であると推定できる。原子番号が 1 つ増えるのは β^- 壊変であり、1 つ減るのは β^+ 壊変及び EC 壊変である。

$$\beta^- \text{ 壊変: } {}_Z\text{X}_N \rightarrow {}_{Z+1}\text{Y}_{N-1} + \beta^- + \bar{\nu}$$

$$\beta^+ \text{ 壊変: } {}_Z\text{X}_N \rightarrow {}_{Z-1}\text{Y}_{N+1} + \beta^+ + \nu$$

$$\text{EC 壊変: } {}_Z\text{X}_N \rightarrow {}_{Z-1}\text{Y}_{N+1} + \nu$$

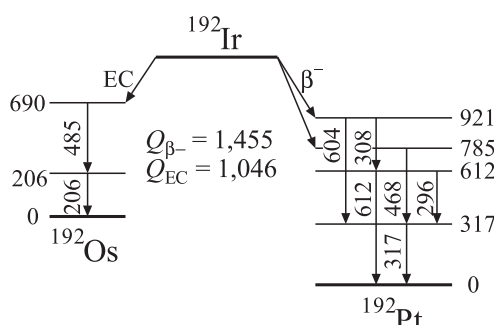
ここで、後者の 2 つの壊変について、一般に親核 X と娘核 Y の静止質量エネルギーの差 $Q_{\text{EC}} = (M_X - M_Y)c^2$ が電子の静止質量 m_0c^2 の 2 倍、すなわち 1,022 keV 以上の場合には、 β^+ 壊変と EC 壊変がともに起こる可能性がある。しかし、 $Q_{\text{EC}} < 2m_0c^2$ の場合には、 $Q_{\beta^+} = Q_{\text{EC}} - 2m_0c^2 < 0$ になるので EC 壊変しか起こりえない。本問では Q_{EC} が与えられていないため明確に判断することはできないが、「 β^+ 及び EC」壊変という選択肢がないことから、 ^{192}Ir から ^{192}Os への壊変は EC 壊変であると推定できる (β^+ 壊変のみが単独で起こることはないと考えてよい)。

実際には、 ^{192}Ir の Q_{EC} は 1,046 keV であり 1,022 keV をわずかに超えるが、次ページの壊変図式 (日本アイソトープ協会「アイソトープ手帳 11 版」p.108 より。説明のため一部簡略化) に示すように、 ^{192}Ir から ^{192}Os への壊変では ^{192}Os の励起状態のみを生じるため、その壊変前後のエネルギー差が 1,022 keV 未満になるので β^+ 壊変は起きない。

C, D : 壊変定数は単位時間当たりの壊変確率を意味する。よって、部分壊変定数 (分岐ごとの壊変確率) の総和が全壊変定数になる。

E : 特性 X 線は、電子軌道に空孔が生じた後、外殻電子が内殻に遷移する際に発生する。EC 壊変や内部転換 (γ 線の代わりに軌道電子が放出される現象) が起こると電子軌道に空孔が生じるので、Os と Pt の両元素の特性 X 線が発生する。

F : 次ページの壊変図式を参照のこと。



G: ^{60}Co からは 1,173 keV 及び 1,332 keV の γ 線が放出される。このことは ^{192}Ir からは ^{60}Co よりエネルギーの低い（つまり透過力の低い） γ 線が放出されることを意味するので、 ^{192}Ir は比較的薄い対象物の検査に適する。

- II H - 1 I - 7 ア - 8 イ - 2 J - 2 K - 5
ウ - 5

注) H, I, ア: 放射性輸送物に関する線量限度は、1 cm 線量当量率について定められている。表面での線量限度が $2 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ を超えず、表面から 1 m の位置で $100 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ を超えないという条件は、A 型輸送物についての技術的基準である。なお、BM 型輸送物の線量基準もおおむね A 型輸送物と同等であるが、BM 型輸送物は原子力規制委員会が定める量を超える放射能を有する放射性同位元素等を収納したものであり（施行規則第 18 条の 3）、放射能強度が A 型輸送物よりも強い線源（ステンレス容器などに溶封されている ^{192}Ir 線源の場合、1 TBq を超えるもの）が対象である。また、L 型輸送物は表面で $5 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ を超えないことが条件であり、IP 型輸送物は放射能濃度が低いなど危険性が比較的低い輸送物である（主として、鉱石や廃棄物の輸送を想定）。

イ: 求める距離を x [m] と置くと、 x は次式を満足する必要がある。

$$0.117 [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times (370 \times 10^3 [\text{MBq}]) / x^2 [\text{m}^2] \leq 110 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}].$$

この式から $x^2 \geq 394$ 、つまり $x \geq 20$ [m] が得られる。

J, K: γ 線は、原子番号が大きく、また、密度が大きい物質と相互作用を起こしやすい。NaI(Tl) シンチレーション検出器はこの条件を満たし、かつ、比較的大きな結晶を作りやすいので、高感度な γ 線測定器としてよく利用される。一方、電離箱は内部に封入されたガスの電離量を測定する。「ガス充填空間の存在が放射線束に大きな影響を与えない」、「電離箱の壁物質とガス充填空間の間で電子平衡が成り立っている」などの条件が満たされている場合、電離箱は照射線量や吸収線量の定義にほぼ忠実に動作するため、感度の放射線エネルギーへの依存性が小さい。なお、ZnS(Ag) シンチレーション検出器は α 線測定に、GM 管は主に β 線測定に使われる（ γ 線も測定可）。GM 管は分解時間が長いので、線量率の高いところでは使えないことに注意が必要である。また、比例計数管を使ったサーベイメータとして、中性子検出あるいは低エネルギー β 線測定用のものなどが市販されているが、 γ 線の空間線量率を測定する目的には普通は使われない。

ウ: 時定数を τ 、線源をサーベイメータ前に置いてからの経過時間を t 、十分な時間が経過した後のサーベイメータの指示値を n_0 とすると、時刻 t における指示値 n はおよそ $n = n_0(1 - e^{-t/\tau})$ と書ける。この式に与えられた条件を代入すると、 $20 = n_0(1 - e^{-5/10})$ が得られ、これから、 $n_0 = 20 / (1 - e^{-0.5}) = 20 / \{1 - (1/e^{0.5})\} = 20 / \{1 - (1/1.65)\} = 51 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}]$ が得られる。

Ⅲ L - 1 M - 5 N - 4 O - 3 P - 2

注) 実効線量や等価線量は、人体の各組織や臓器が受けた被ばくの程度に基づいて評価される。これらは防護量と呼ばれ、被ばく管理を行う上で重要であるが、定義のとおりに測定することはできない。このため、個人及び環境モニタリングのための実用的な線量として、1 cm 線量当量 $H_{1\text{cm}}$ と 70 μm 線量当量 $H_{70\mu\text{m}}$ が用いられる。ここで、 $H_{1\text{cm}}$ は ICRU 球 (人体等価組成の物質で作られた直径 30 cm の球) の表面から 1 cm の深さでの線量であり、実効線量や妊娠中の女子の腹部の等価線量の評価に使われる。 $H_{70\mu\text{m}}$ は ICRU 球の表面から深さ 70 μm での線量であり、皮膚の等価線量に相当する。また、眼の水晶体の等価線量は $H_{1\text{cm}}$ と $H_{70\mu\text{m}}$ のうち大きな方の値、あるいは放射線の種類やエネルギーなどを考慮して、水晶体への影響をより適切に反映していると考えられる方の値を用いる。

問 5 次の I ~ Ⅲ 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。

I 放射線のエネルギーが原子・分子に吸収され、分子に電離、励起などを起こす物理的過程は吸収後 ア 秒くらいから始まる。その後、化学的過程、生物学的過程を経て生体に影響を及ぼす可能性がある。化学的過程において反応性が高いことから重要視されるのは、A をもつラジカルである。生体影響を考えると、生体構成分子の中でも、B 分子から生成される $\bullet\text{OH}$ 、 $\bullet\text{H}$ などのラジカルや C などの収量、空間分布、挙動などが重要となる。これらのラジカル生成物だけでなく、ラジカルどうしの反応や拡散を経て生じる分子生成物も含めて、放射線による生成物の収量をプライマリー収量と呼び、D で表わす。D は、物質が イ eV の放射線エネルギーを吸収したとき変化を受ける分子または原子の数と定義される。これらの生成物は空間的には ウ の局所領域に複数個分布していることが多く、このような局所領域を E と呼ぶ。D や E の生成される間隔が、放射線の飛跡の単位長さ当たりに物質に付与されるエネルギーである F によっても大きく変わることに注目したい。

<アの解答群>

1 $10^{-16} \sim 10^{-15}$ 2 $10^{-12} \sim 10^{-9}$ 3 $10^{-8} \sim 10^{-4}$

<A~C の解答群>

1 軌道電子 2 不対電子 3 δ 電子 4 σ 電子 5 水和電子 6 自由電子
7 水 8 核酸 9 アミノ酸

<D~F の解答群>

1 G 値 2 W 値 3 Q 値 4 トラック 5 スパー (スプール)
6 ホットスポット 7 RBE 8 OER 9 LET

<イの解答群>

1 10 2 100 3 1,000 4 10,000

<ウの解答群>

1 数 nm 2 数十 nm 3 数百 nm 4 数 μm

II 化学的過程では、 $\bullet\text{OH}$ ラジカルどうしの反応で G が生成される。また、C は酸素分子と反応し、スーパーオキシドラジカル $\bullet\text{O}_2^-$ が生成される。 $\bullet\text{OH}$ ラジカル、 $\bullet\text{O}_2^-$ 、G などは活性酸素種としても分類され、放射線被ばくだけでなく、化学物質などによる健康障害の原因としても注目されている。活性酸素種の中で $\bullet\text{OH}$ ラジカルに着目すると、H などによって DNA に化学変化を起こし細胞に損傷を生成し、組織・器官に障害をもたらす可能性が高いからである。

損傷の生成から細胞を防護する物質を放射線防護剤と呼び、その代表的なものとして I や S

-S 結合をもつ化合物がある。これは、放射線で生成したラジカルを〔 J 〕し、放射線の生物照射効果において〔 エ 〕低下させる。

放射線防護剤による保護効果とは別に、細胞は放射線から自らを守る仕組みをもっている。例えば、細胞内にはグルタチオンやスーパーオキシドジスムターゼ (SOD) が存在し、活性酸素を無毒化し DNA 損傷を軽減化する。なお、グルタチオンは〔 I 〕をもっているのでラジカルの〔 J 〕によっても DNA を守ることができる。ところが、照射時に細胞内に酸素が多く存在すると、酸素はラジカルがグルタチオンに〔 J 〕されるよりも早く反応し、より有害な活性酸素種などを生成して DNA 損傷の増加をもたらすことがある。この生成反応は細胞の増感効果に繋がり、〔 K 〕の作用機序の一つと考えられる。

< G~I の解答群 >

- 1 H_2O^+ 2 H_2O^* 3 H_2 4 H_2O_2 5 水素引き抜き反応 6 メチル化反応
7 アセチル化反応 8 熱交換反応 9 SH 基 10 OH 基 11 CO 基
12 COH 基

< J, K の解答群 >

- 1 放出 2 捕捉 3 凍結 4 相乗効果 5 線質効果 6 酸素効果

< エ の解答群 >

- 1 直接作用より間接作用を 2 間接作用より直接作用を
3 直接作用も間接作用も同程度に

Ⅲ 線量計への応用や環境科学分野への応用から・OH ラジカルについて考えてみるのも興味深い。吸収された放射線エネルギーとラジカル生成量の比例関係が成立している系では、水の放射線分解を線量計に応用することができる。〔 L 〕を含む硫酸酸性水溶液を放射線照射した場合、〔 L 〕は、・OH ラジカルと、あるいは水素ラジカルや〔 C 〕を介して生じる H_2O_2 などと反応して、〔 M 〕が生成される。〔 M 〕の生成量から放射線の線量を測定することができ、この測定原理が〔 N 〕線量計に利用されている。つまり、これらの反応は〔 L 〕の放射線による〔 O 〕反応ということもできる。

また、・OH ラジカルのもつ強い〔 O 〕力は、有害物質を環境中に放出しないためにも利用されている。石炭・石油発電所からの排ガスに、あらかじめ〔 P 〕ガスを添加してから電子線を照射し、排ガス中に生成した・OH ラジカルによって窒素酸化物や硫黄酸化物を硝酸アンモニウムや硫酸アンモニウムとして粉末にして除去・回収する技術である。

< L~P の解答群 >

- 1 酸化 2 還元 3 中和 4 Fe^{2+} イオン 5 Fe^{3+} イオン
6 Ce^{2+} イオン 7 Ce^{3+} イオン 8 フリッケ 9 セリウム 10 OSL
11 ガラス 12 窒素 13 アルゴン 14 不活性 15 アンモニア

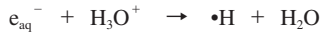
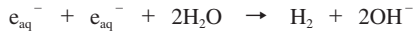
〔解答〕

- I 〔ア〕- 1 〔A〕- 2 〔B〕- 7 〔C〕- 5 〔D〕- 1 〔E〕- 5
 〔F〕- 9 〔イ〕- 2 〔ウ〕- 1

注) 生体に入射した放射線は、水分子をイオン化 ($\text{H}_2\text{O}^+ + \text{e}^-$) または励起 (H_2O^*) する (物理的過程)。 H_2O^+ は不安定で、 $\sim 10^{-15}$ 秒程度で周囲の水分子と反応して H_3O^+ と・OH を生成する。 H_2O^* は・H と・OH に分解される。 e^- は、 $\sim 10^{-12}$ 秒くらいまでに水和し、比較的寿命の長い水和電子 (e_{aq}^-) となる (物理化学的過程)。これらの生成物は、放射線の飛跡に沿いつつ飛び飛びに存在するスパーと呼ばれる直径数 nm の領域に局在して生じる。スパーの空間分布は、放射線の線質 (LET) の影

響を大きく受け、高 LET 放射線では高密度となる。

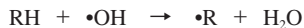
その後、これらの生成物は拡散しながら、



などの反応を起こし、放射線通過から $\sim 10^{-7}$ 秒後までに、ほぼ均一な空間分布となる（化学的過程）。この時点での生成物の収量をプライマリー収量と呼び、G 値（放射線から 100 eV 吸収したときの変化を受ける分子または原子の数）であらわす。なお、LET はラジカルの密集度にも影響し、高密度ではラジカル同士の反応が多くなることなどにより、プライマリー収量も影響を受ける。

II G - 4 H - 5 I - 9 J - 2 K - 6 エ - 1

注) 生体の約 70% は水であり、生体高分子は、化学的過程で生成した $\bullet\text{OH}$ や H_2O_2 などによって強い影響を受ける（このように生体高分子が放射線によって直接ではなく、周囲の水分子から生じたラジカルや活性酸素種によって影響を受けることを間接作用という）。たとえば $\bullet\text{OH}$ は強い酸化力を持ち、DNA などの生体高分子 (RH) に対し、水素引き抜き反応を起こす。



低 LET 放射線の生体影響はこの $\bullet\text{OH}$ が主因と考えられている。

SH 基や S-S 結合を持つ化合物は、ラジカルを捕捉し、放射線の間接作用を低下させる。こうした物質をラジカルスカベンジャーという。

グルタチオンは分子内に SH 基を持ち、細胞内で還元型 (GSH) が大部分を占める。GSH はラジカルと酸化還元反応を行い、酸化型 (GSSG) となる。



このとき、酸素が存在すると、 $\bullet\text{R} + \text{O}_2 \rightarrow \bullet\text{RO}_2$ の反応が競合して起こるが、この反応は前者に比べ 200 倍も速く進み、生体高分子ラジカル ($\bullet\text{R}$) は有機過酸化ラジカルとして固定されると考えられている。この例のように、酸素の存在が放射線の生体影響を増強することを酸素効果という。

III L - 4 M - 5 N - 8 O - 1 P - 15

注) $\bullet\text{OH}$ や H_2O_2 は強い酸化力を持ち、 Fe^{2+} を酸化し、 Fe^{3+} とする。水の放射線分解によって生じるラジカル種や H_2O_2 が Fe^{2+} を酸化する反応を線量計に応用したのがフリッケ線量計である。



排ガス中の窒素酸化物や硫黄酸化物は、 $\bullet\text{OH}$ の強い酸化力によって、強酸性の硫酸、硝酸になるが、アンモニアガスを添加することにより、中和して硫酸アンモニウムや硝酸アンモニウムにでき、これらは肥料として利用される。

管 理 技 術 Ⅱ

第58回（平成28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のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 壊変定数 — s^{-1}
 B 照射線量 — $J \cdot kg^{-1}$
 C カーマ — $J \cdot kg^{-1}$
 D 質量エネルギー吸収係数 — $m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s$
 E 反応断面積 — m^2

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

〔解答〕

2

注) B：照射線量は、単位質量を持つ空気の体積要素内で、照射放射線により生成される電離に基づく電荷量によって定義されるため、 $C \cdot kg^{-1}$ （クーロン/kg）となる。

D：質量エネルギー吸収係数は、線エネルギー吸収係数（/m）を対象物質の密度（ kg/m^3 ）で割ったものであるため、単位は $m^2 \cdot kg^{-1}$ となる。

問2 K殻の軌道電子に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 主量子数は1である。
 B 原子核との結合エネルギーは、他の電子殻の軌道電子よりも大きい。
 C 電子数は、1原子当たり1個である。
 D オージェ電子として放出されることがある。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕

1

注) C：電子殻における電子軌道は、主量子数 n （電子軌道の大きさを整理するための番号）、方位量子数 l （電子軌道の形を整理するための番号）、磁気量子数 m （同一の軌道形を整理するための数字）によって区別され、電子軌道はその形により同一の電子軌道の大きさの場所に複数存在することができるものもある（ $2l+1$ 個存在できる）。同一電子軌道（ n, l, m が全く同じ数字の電子軌道）上には、パウリの排他原理により2個の電子しか存在できない。K殻とは主量子数が1の電子軌道のことを指す。K殻においては、方位量子数が0（s軌道）のみであるため、1個の電子軌道しか存在できず、このため2個の電子しか存在できない。

D：オージェ電子は、電子殻の持つ余剰エネルギー（軌道電子捕獲に伴うK殻電子空乏や励起等によるもの）により起こる電離現象に伴う放出電子を指す。電離に必要なエネルギー（原子核

に対する結合エネルギー）は内殻ほど大きく、外殻に行くほど小さくなるため、オーグメント電子が生成される場合は、結合エネルギーの小さい外殻から放出される。

問3 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 α 粒子は陽子2個、中性子2個、及び電子2個からなる。
 B 電子と陽電子は進行方向と直交する静磁場中で、互いに逆方向に曲げられる。
 C γ 線の速度は X 線の速度よりも大きい。
 D 熱中性子は間接電離放射線である。

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

〔解答〕

4

注) A : α 線は、陽子2個、中性子2個のみからなり、電子を伴わない粒子線である。

C : γ 線及び X 線はともに電磁波である。電磁波は波長の違いによる空間中の進行速度の差は無いため、 γ 線と X 線の速度は同一である。

問4 放射性核種に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A ^{60}Co は β^- 壊変をする。
 B ^{90}Sr は α 壊変をする。
 C ^{125}I は EC 壊変をする。
 D ^{137}Cs は β^- 壊変をする。

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

〔解答〕

1

注) B : ^{90}Sr は原子番号 38 (陽子数 38, 中性子数 52) の中性子過剰核で、純 β^- 崩壊核である。 α 崩壊は安定原子核から見て陽子過剰核側の核で生じる。

問5 無担体の放射性核種 1.0 nmol の放射能を測定したところ、5.0 MBq であった。この核種の半減期 [年] として、最も近い値は、次のうちどれか。

1 0.7 2 2.6 3 4.4 4 6.3 5 9.1

〔解答〕

2

注) 放射能 A は、原子数 N と壊変定数 λ の積となる。また、壊変定数と半減期は反比例の関係にあり、その比例定数は $\ln 2$ である。

$$A = N \times \lambda = N \times \left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \right)$$

$$T_{1/2} = \ln 2 \times \frac{N}{A} = 0.693 \times \frac{1.0 \times 10^{-9} \times 6.02 \times 10^{23}}{5.0 \times 10^6} \times \frac{1}{60 \times 60 \times 24 \times 365}$$

$$\doteq 2.65$$

問6 1 MeV の γ 線のエネルギーが対象物質に全て吸収されたときに生じる変化について、その数が多い順に並べられているものは、次のうちどれか。ただし、乾燥空気の水価を 34 eV、ゲルマニウム結晶の水価を 3.0 eV、およびフリッケ線量計の G 値を 15.5 とする。

- A 乾燥空気に吸収された際に生じる電子-イオン対の数
 B ゲルマニウム結晶に吸収された際に生じる電子-正孔対の数
 C フリッケ線量計の溶液に吸収された際に生じる Fe^{3+} の数

1 $A > B > C$ 2 $B > A > C$ 3 $B > C > A$ 4 $C > A > B$ 5 $C > B > A$

〔解答〕

3

注) W 値は、対象気体において電子-イオン対情報キャリアを生成するのに必要なエネルギー（励起・分子間振動等に移行したエネルギー含む）を指し、 ϵ 値は、対象固体において電子-イオン対情報キャリアを生成するのに必要なエネルギー（励起・分子間振動等に移行したエネルギー含む）を指す。G 値は放射線照射において、物質が 100 eV のエネルギー吸収で変化する分子又は原子の数（ここでは、フリッケ線量計で生成する Fe^{3+} イオン数）を指す。

以上より、A の個数は 1 MeV を W 値で除した値、B の個数は 1 MeV を ϵ 値で除した値、C の個数は 1 MeV を 100 eV で除した値と G 値との積となる。

$$N_A = \frac{1 \times 10^6}{34} = 2.9 \times 10^4$$

$$N_B = \frac{1 \times 10^6}{3.0} = 3.3 \times 10^5$$

$$N_C = \frac{1.0 \times 10^6}{100} \times 15.5 = 1.55 \times 10^5$$

$$N_B > N_C > N_A$$

問7 光電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 γ 線のエネルギーと光電子のエネルギーは等しい。
 B γ 線の運動量はすべて光電子に与えられる。
 C γ 線を吸収する確率は、より内殻の電子の方が大きい。
 D 光電効果の断面積は物質の原子番号の5乗にほぼ比例する。

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

〔解答〕

5

注) 光子が吸収物質原子と相互作用し完全に消失する現象を、光電吸収 (Photoelectron Absorption) あるいは光電効果 (Photoelectron Effect) とよぶ。

A : 光電子のエネルギーは γ 線のエネルギーに比べて、光電子のもととなった軌道電子の原子核への結合エネルギー分だけ小さい。

B : γ 線の運動量は、光電子と光電子を放出した後のイオンとに分配される。

問8 荷電粒子によるエネルギー付与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 エネルギー付与は飛跡に沿ってランダムに起きる。
 B エネルギー付与が起きる確率は粒子のエネルギーに比例する。
 C イオン対生成に必要なエネルギーの平均値を Q 値と呼ぶ。
 D 飛跡の単位長さあたりに物質へ与えるエネルギーを LET と呼ぶ。
 E 荷電粒子と物質との相互作用によって、光子が生成することがある。

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

〔解答〕

3

注) B：荷電粒子の阻止能については、巨視的な表現式としてはベーテの式に従い、荷電粒子のエネルギー、電荷及び物質の性質（密度、平均励起エネルギー、原子番号等）に依存する。阻止能の荷電粒子のエネルギーに対する依存は単純な比例関係にはないため、エネルギー付与が起きる確率についても粒子のエネルギーに比例しないと考えられる。

C：Q値は、ある原子核の変化（原子核崩壊あるいは誘導核分裂現象等）の前後での、原子核維持に必要な核内ポテンシャルの差分エネルギーの大きさを指す値である。

問9 ^{137}Cs 線源から放出された γ 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] に最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 184 2 331 3 478 4 511 5 662

〔解答〕

3

注) 入射 γ 線のエネルギーとコンプトン反跳電子の最大エネルギー（コンプトン端におけるエネルギー）の差は、以下の式で与えられる。

$$E_d = \frac{h\nu}{1 + 2 \cdot \frac{h\nu}{m_e \cdot c^2}} = \frac{662}{1 + 2 \cdot \frac{662}{511}} \simeq 184 \text{ [keV]}$$

ここで、 $h\nu$ ： γ 線のエネルギー [keV] $m_e c^2$ ：電子の静止エネルギー (=511 keV)

以上より、コンプトン反跳電子の最大エネルギーは、約 478 keV となる。

問10 端窓型 GM 計数管による β 線源の放射能測定において、線源支持台による後方散乱の影響を調べるため、線源と GM 計数管との距離を一定に保ちながら線源支持台を厚くしていった。このとき計数率はどのような変化を示すか。次のうち正しいものはどれか。

- 1 低下し、やがて一定値となる。
- 2 低下し、のちに上昇してゆく。
- 3 低下と上昇を繰り返しながら、やがて一定値となる。
- 4 上昇し、やがて一定値となる。
- 5 上昇し、のちに低下してゆく。

〔解答〕

4

注) 後方散乱は、線源に対して検出器と反対方向に存在する物質による散乱成分を指す。散乱の原因となる物質の量が多くなると、後方散乱成分は増加するが、ある厚さ以上では、対象物質中での β 線の飛行経路が最大飛程以上となるため、後方散乱成分は一定値に漸近していく。

問11 光電子増倍管を用いたシンチレーション検出器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 シンチレータ結晶と光電子増倍管の入射窓の間を真空にする。
- B 結晶から光電子増倍管へ入射した光子は、ダイノードで光電子に変換される。
- C 光電子増倍管へ入射した光子から光電子への変換効率は、光子の波長に依存する。
- D 作動させるためには、500～2,500 V 程度を印加する高電圧電源が必要である。
- E カソード（陰極）から外部回路へ電子が流れ出る。

- 1 AとB 2 AとE 3 BとD 4 CとD 5 CとE

〔解答〕

4

注) A：通常の放射線管理でシンチレーション検出器を使用する場合は、シンチレータ光の結晶端—光電子増倍管入射窓間の屈折率ギャップによる収率低下を軽減するため、オプティカルグリース（光学的潤滑油）により結晶端—光電子増倍管入射窓間を接続する。

B：結晶から光電子増倍管へ入射した光子は、光電陰極において光子／電子変換され、変換された光電子は、ダイノード電極において電流増幅される。

E：光電子増倍管では内部で電子掃引を行うため、光電変換面を陰極として使用する。このため、光電子増倍管内で増幅された電子は、陽極に収集され外部回路へと供給される。

問12 放射線検出に利用されるシンチレータ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 NaI(Tl)は β 線の測定に適さない。
 B $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ はNaI(Tl)よりもエネルギー分解能が悪い。
 C $\text{ZnS}(\text{Ag})$ は γ 線の測定に適している。
 D $\text{LiI}(\text{Eu})$ シンチレータは熱中性子の測定に適している。
 E 液体シンチレータを用いて ^3H の β 線が測定できる。

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

〔解答〕

3

注) B： $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ の662 keVにおけるエネルギー分解能は3%程度であり、NaI(Tl)の662 keVにおけるエネルギー分解能は8%程度である。

C： $\text{ZnS}(\text{Ag})$ は、不透明な物質で比エネルギー損失の大きい荷電粒子の観測に使用される。可搬型のサーベイメータの場合は、 α 線測定用サーベイメータに採用されている。

問13 放射線のエネルギー分布測定において、放射線検出器と放射線の組合せとして、適切なものは次のうちどれか。

- | | |
|----------------------|--------------|
| A Si 半導体検出器 | — α 線 |
| B GM 計数管 | — β 線 |
| C NaI(Tl)シンチレーション検出器 | — γ 線 |
| D 比例計数管 | — 特性X線 |

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

〔解答〕

1

注) B：GM 計数管は、ガス増幅を利用した検出器であるが、高い印可電圧によりガス増幅が飽和状態となっているため、電極により収集される電子数（電流）は、初期電子数に依存しない。このため、GM 計数管での放射線の付与エネルギーの弁別は行えず、エネルギー分布測定はできない。

問14 ある試料を10分間測定したとき、計数率は毎分360カウントであった。計数率の相対標準偏差[%]として最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 1.0 2 1.7 3 2.2 4 3.4 5 5.2

〔解答〕

2

注) 放射線を測定した場合の観測値は、正規分布に従うため平均と分散が等しくなる。このため、標準偏差は、平均の平方根を取ることで得ることができる。

$$\sigma_{\text{abs}} = \sqrt{\text{COUNT}} = \sqrt{360 \times 10} = 60 \text{ [counts]}$$

$$\sigma_r = \frac{\frac{\sigma_{\text{abs}}}{T}}{\frac{\text{COUNT}}{T}} \times 100 = \frac{\frac{\sqrt{\text{COUNT}}}{T}}{\frac{\text{COUNT}}{T}} \times 100 = \frac{1}{\sqrt{\text{COUNT}}} \times 100 = \frac{100}{60}$$

$$\sigma_r = 1.66\cdots \simeq 1.7$$

問 15 4.0 TBq の ^{192}Ir 線源が厚さ 5 cm の鉛容器に保管されている。線源から 2.0 m 離れた点の実効線量率 [$\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$] として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、 ^{192}Ir の実効線量率定数を $0.12 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 ^{192}Ir の γ 線に対する鉛 5 cm の実効線量透過率を 5.0×10^{-4} とする。

1 0.06 2 0.3 3 0.6 4 30 5 60

〔解答〕

5

注) 鉛容器に入った線源から一定距離の位置での実効線量率は、鉛による遮蔽と距離による実効線量率の低減効果（距離の2乗に反比例する）が両方かかる。

$$D_{2\text{m}} = \left\{ \frac{4.0 \times 10^{12}}{1.0 \times 10^6} \times 0.12 \times \frac{1}{2.0^2} \right\} \times 5.0 \times 10^{-4} = 60 \text{ } [\mu\text{Sv} / \text{h}]$$

問 16 ある γ 線に対する鉛の線減弱係数が 1.2 cm^{-1} であった場合、線量率を 1/4 にするのに必要な鉛の厚さ [cm] として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、ビルドアップは無視するものとする。

1 0.29 2 0.58 3 1.2 4 1.8 5 2.4

〔解答〕

3

注) 線減弱係数とは、ある物質中における減弱係数を指数関数で表記した場合に透過距離にかける定数である。

$$\begin{aligned} \frac{I}{I_0} &= e^{-\mu x} \\ 1/4 &= e^{-1.2 \cdot x} \\ 2^{-2} &= e^{-1.2 \cdot x} \\ -2 \ln 2 &= -1.2 \cdot x \\ x &= \frac{2}{1.2} \ln 2 \\ &= \frac{2}{1.2} \cdot 0.693 = 1.155 \simeq 1.2 \end{aligned}$$

I : 鉛を通ったあとの放射線の線量率

I_0 : 元の線量率

μ : 線減弱係数 [cm^{-1}]

x : 鉛の厚さ [cm]

問 17 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 ^{90}Y β 線の場合、厚さ 2 mm のアルミニウムで遮蔽できる。
 B ^{210}Po α 線の場合、厚さ 0.2 mm のゴム手袋で遮蔽できる。
 C ^{137}Cs γ 線の場合、厚さ 5 cm の鉛よりも厚さ 5 cm の鉄の方が、遮蔽効果が大きい。
 D ^{252}Cf 中性子（平均エネルギー 2.2 MeV）の場合、厚さ 30 cm の鉛よりも厚さ 30 cm の普通コンクリートの方が、遮蔽効果が大きい。

1 AとC 2 AとD 3 BとC 4 BとD 5 CとD

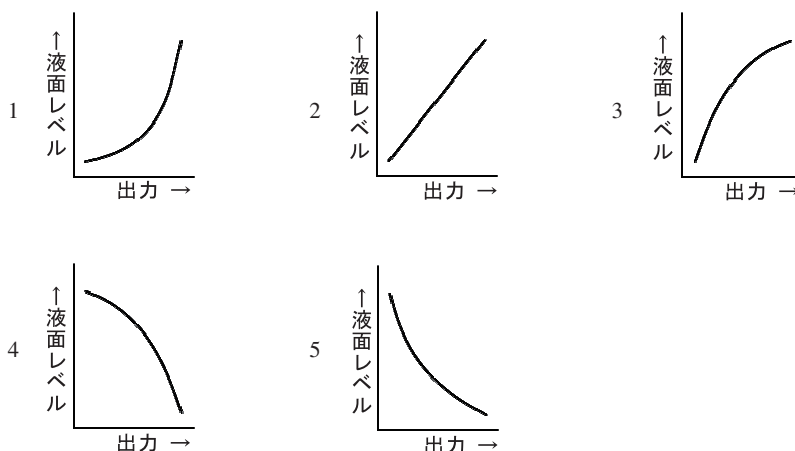
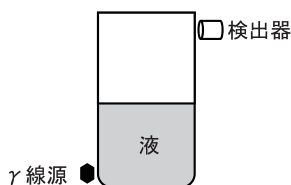
〔解答〕

4

注) A：電子の飛程はおおざっぱに、低密度物質に対しては約 2 mm/MeV、中密度物質に対しては約 1 mm/MeV である。 ^{90}Y β 線の最大エネルギーは 2.27 MeV で、アルミニウムは低密度物質であるため、2 mm 厚では十分な遮蔽効果は得られない。

C：鉄と鉛の 600 keV に対する質量減弱係数は、それぞれ約 $0.077[\text{cm}^2/\text{g}]$ と約 $0.080[\text{cm}^2/\text{g}]$ である。鉄と鉛の密度は、それぞれ約 $7.9[\text{g}/\text{cm}^3]$ と $11.3[\text{g}/\text{cm}^3]$ であるため、鉄と鉛の線減弱係数は、約 $0.6[/\text{cm}]$ と約 $0.9[/\text{cm}]$ となり、鉄に比べ鉛の遮蔽効果が大きい。

問 18 下図に示す透過形 γ 線レベル計において、検出器出力（横軸）と液面レベル（縦軸）との関係が、線形グラフ上で最も適切に表されているものは、次のうちどれか。なお、 γ 線源、検出器ともにその位置は固定されている。



〔解答〕

5

注) 問題の γ 線源-検出器の配置においては、液面レベルは遮蔽体厚さと比例関係にあるため、右肩下

がりのグラフとなる。加えて、遮蔽厚さと γ 線の減衰率は、指数関数の関係にあるため、下膨れの右肩下がりのグラフが正解となる。

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

I ：鉛を通ったあとの放射線の線量率

I_0 ：元の線量率

μ ：線減弱係数 [cm^{-1}]

x ：鉛の厚さ [cm]

問19 放射性同位元素を装備した機器と放射線源の組合せとして、正しいものはどれか。

- A 水分計 — $^{241}\text{Am-Be}$
- B 厚さ計 — ^{85}Kr
- C 静電除去装置 — ^{210}Po
- D ガスクロマトグラフ — ^{63}Ni

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) $^{241}\text{Am-Be}$ は α 線源+Beの中性子線源であり、発生する速中性子の水素での減速で生じる熱中性子の観測による水分量（水素量）測定に使用される。

^{85}Kr は β 線放出核種（最大エネルギー 690 keV）で紙や薄プラスチック等の薄い物の厚さ計に使用される。

^{210}Po は α 線放出核種（5.4 MeV）で、引火性物質を使用している工場等における静電除去に、 α 線で生成した電離空気が使用される。（プラズマ等の電流を使用する静電除去装置の場合、火災の恐れがあるため。）

^{63}Ni は純 β 線放出核種（67 keV）で、親電子性化合物の検知を目的として設計されたガスクロマトグラフのキャリアガス内の電子を生成するための部品として使用される。

問20 次の放射性核種のうち、放出される β 線の最大エネルギーが最も小さいものはどれか。

- 1 ^3H
- 2 ^{14}C
- 3 ^{32}P
- 4 ^{63}Ni
- 5 ^{147}Pm

〔解答〕

1

注) 生成 β 線の最大エネルギーは以下のとおりである。

^3H ：18.6 keV

^{14}C ：156 keV

^{32}P ：1710 keV

^{63}Ni ：67 keV

^{147}Pm ：224 keV

問21 放射線業務従事者の個人線量計の取扱い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 管理区域の中で保管すること。
- B 自分の線量計が見当たらないときは、他人の線量計を借りて装着すること。
- C 防護エプロンを着用したときは、その内側に装着すること。
- D 管理区域においては、放射線作業を行わない場合でも装着すること。

1 AとC 2 AとD 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕

5

注）A：個人線量計の保管は、作業時に被ばくする放射線の量のみが測定できるよう、作業しないときにはコントロール線量計（環境放射線量を観測している基準線量計）を保管している箇所で保管する必要がある。よって、保管場所としては環境放射線以外の放射線の影響のない場所が望ましく、管理区域内での保管は推奨できない。

B：個人の被ばく管理は、個人ごとに割り当てられた線量計により管理されるため、他人の線量計を使用することは、各個人の被ばく線量を正しく測定できないという結果を招く。

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 熱ルミネセンス線量計（TLD）は高温加熱処理しても再利用できない。
- B 蛍光ガラス線量計は繰り返し読み取りができない。
- C OSL 線量計は輝尽発光を利用している。
- D 固体飛跡検出器は中性子の計測に用いられている。

1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとD 5 CとD

〔解答〕

5

注）A：TLD はバンドギャップ間の捕獲エネルギー準位に、放射線による励起状態を保持する機構となっている。TLD は、高温加熱で捕獲された励起状態を伝導帯まで励起することにより、捕獲キャリアを再結合させ、再利用することができる。

B：蛍光ガラス線量計は TLD と同様の原理であるが、読出し励起にレーザー等の光を使用するものである。読出し方法として連続光源（CW 光源）を用いる方法と短パルス光源を用いて繰り返し読出しを行う方法とがある。

問23 成人の臓器・組織について、放射線感受性が高い順に並んでいるものは次のうちどれか。

- 1 生殖腺 > 肝臓 > 骨
- 2 脳 > 唾液腺 > 皮膚
- 3 胸腺 > 筋肉 > 水晶体
- 4 小腸 > 甲状腺 > 胸腺
- 5 骨髄 > 結合組織 > 毛細血管

〔解答〕

1

注）2 脳は、唾液腺より放射線感受性が低い。

3 筋肉は、水晶体より放射線感受性が低い。

4 甲状腺は、胸腺より放射線感受性が低い。

5 結合組織は、毛細血管より放射線感受性が低い。

問 24 倍加線量に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 生物種に関係なく一定の値を示す。
- B 生物効果比（RBE）を 2 倍にする線量である。
- C 突然変異発生率を自然発生率の 2 倍にするのに要する線量である。
- D この値が大きいほど遺伝性（的）影響は起こりにくい。

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

〔解答〕

5

注）倍加線量は、自然発生の突然変異率に対して 2 倍の突然変異率を発生させるために必要な線量を指す。

A：倍加線量は、DNA の構造等により異なるため、生物種毎で異なる。

B：生物効果比は、放射線の種類により生物学的影響の強さが異なることを表わすための指標である。

問 25 γ 線に全身が均等被ばくした場合に、次の臓器・組織のうち、確率的影響の起こりやすさを考慮して定められた組織加重係数（ICRP2007 年勧告値）が最も大きいものはどれか。

- 1 肝臓
- 2 骨髄（赤色）
- 3 生殖腺
- 4 甲状腺
- 5 皮膚

〔解答〕

2

注）ICRP2007 年勧告による組織加重係数は以下のとおりである。

肝臓：0.04

骨髄（赤色）：0.12

生殖腺：0.08

甲状腺：0.04

皮膚：0.01

問 26 内部被ばくにおける放射性核種とその主な集積部位の組合せのうち、正しいものはどれか。

- A ^{32}P — 骨
- B ^{45}Ca — 肝臓
- C ^{55}Fe — 肺
- D ^{90}Sr — 骨
- E ^{131}I — 甲状腺

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

〔解答〕

3

注）B：Ca は骨の原料であるため、集積部位は骨となる。

C：Fe は赤血球の原料であるため、集積部位は造血器、肝臓、脾臓となる。

問27 細胞の放射線に対する生存曲線に関する次の記述のうち、適切なものの組合せはどれか。

- A 細胞の生存率が線量増加に対して減少する様子を示している。
- B 生存率を示す縦軸も放射線の線量を示す横軸も対数で表す。
- C 低線量域における線量増加に対して、生存率がほとんど変化しない肩をもつことがある。
- D 同じ細胞に異なる種類の放射線を照射しても、生存曲線の傾きは変わらない。
- E 同じ細胞に異なる線量率の放射線を照射しても、生存曲線の傾きは変わらない。

1 AとB 2 AとC 3 BとD 4 CとE 5 DとE

〔解答〕

2

注) B：放射線に対する生存曲線を引く場合、生存率を対数表記、放射線量を線形表記することが多い。

D：同じ細胞に異なる種類の放射線を照射した場合、低LET放射線と高LET放射線では異なる傾きを示し、低LET放射線（X線等）に比べ高LET放射線の傾きが大きくなる。

E：低い線量率の場合は、細胞に損傷修復の機会が見込める。このため、高い線量率の放射線を照射した場合よりも低い線量率では傾きが小さくなる。

問28 晩発性の放射線障害として、正しいものは次のうちどれか。

- A 一時的不妊
- B 乾性落屑^{せつ}
- C 再生不良性貧血
- D 骨腫瘍
- E 下痢

1 AとB 2 AとE 3 BとD 4 CとD 5 CとE

〔解答〕

4

注) A：一時的不妊は、生殖腺における急性の放射線障害である。

B：乾性落屑は、皮膚における急性の放射線障害である。

E：下痢は、小腸及び大腸における急性の放射線障害である。

問29 γ 線数 Gy の急性全身被ばく後1週間くらいで、末梢血^{しょう}中で顕著に減少するものは、次のうちどれか。

- A リンパ球
- B 赤血球
- C 好中球
- D 血小板

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) 造血幹細胞は放射線感受性が高いが、末梢血中の成熟した細胞は感受性が低い。したがって、急性全身被ばくの場合、造血器官から血球の補給がなくなることによって、末梢血中の血球が減少する。減少の時期を見ると、リンパ球、好中球、血小板は、細胞の寿命が数時間から10日と短いので被ばく後短期間に減少するが、赤血球の平均寿命は約120日と長いので、被ばく後短期間での顕著な減少は見られない。

問30 自然放射線による被ばくに対する寄与の大きい順に並んでいるのは、次のうちどれか。

- A 食品から摂取される ^{40}K
- B 宇宙放射線により大気中で生成される ^{14}C
- C 空気中に存在する ^{222}Rn とその子孫核種（壊変生成核種）

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

〔解答〕

4

注）自然放射線による被ばくは、呼吸に伴う内部被ばく、細胞内 RI の壊変に伴う内部被ばく、大地からの放射線による外部被ばく、宇宙からの放射線による外部被ばくの4つに分類できる。それぞれによる被ばく量は1年間で、1.26 mSv, 0.29 mSv, 0.48 mSv, 0.39 mSv 程度である（世界平均：UNSCEAR 2008 Report Vol.1）。 ^{40}K と ^{14}C による被ばくは、細胞内 RI の壊変に伴う内部被ばくに分類され、 ^{222}Rn と子孫核種による被ばくは、呼吸に伴う内部被ばくに分類される。また、体内における ^{40}K と ^{14}C の存在量は、体重 60 kg 当たりにつき、それぞれ 4,000 Bq と 2,500 Bq である。以上より、各核種による被ばく量の多寡は、 ^{222}Rn 及び子孫核種 $> ^{40}\text{K} > ^{14}\text{C}$ となる。