

令和 2 年度

第 2 種放射線取扱主任者試験

問題と解答例

実務

解答例は公益社団法人日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会が解答の一案として作成した
ものです。

令和2年度放射線取扱主任者試験

正誤表

試験日	令和2年12月29日(火)
試験区分	2時限目(13:00~14:15)
	第2種
課目	実務
板書事項	<p>3 ページ 問 9</p> <p>選択肢 C</p> <p>(誤) C 防護服の脱着は…</p> <p>(正) C 防護服を脱ぐときは…</p> <p>選択肢 D</p> <p>(誤) D 防護服の脱着は…</p> <p>(正) D 防護服を脱ぐときは…</p> <p>4 ページ 問 11</p> <p>問題文 下から 6 行目</p> <p>(誤) …最も線量の高くなる点は…</p> <p>(正) …最も線量率の高くなる点は…</p>

※問題と解答例では正誤の対応済みです。

(令和2年度) 第1種実務

次の問1から問10について、5つの選択肢のうち適切な答えを1つだけ選び、また、問11、問12の文章の()の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

問1 次の実効線量に関する記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 放射線作業者に対して適用し、公衆に対しては適用しない。
- B 被ばく時の線量率が分からないと、値が決まらない。
- C 人体のすべての特定された組織及び臓器における等価線量の合計である。
- D 単位の特別な名称は、シーベルトである。

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～D: 等価線量や実効線量は、放射線防護のために用いられる量(防護量)で、その単位はどちらも Sv (シーベルト) である。

等価線量は、放射線を受けた組織・臓器ごとに放射線の種類やエネルギーを考慮した上で算出される線量である。実効線量は放射線による全身の被ばく量を表すために用いられ、組織・臓器ごとに算出された等価線量に組織荷重係数を乗じて合計したものである。問12のIIも参照

参考: 改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 現場必備! 教育訓練テキスト, 日本アイソトープ協会, 丸善, 2020, 22 ページ

問2 ICRP2007年勧告で示されている3つの防護の基本原則として、正しいものの組合せは、次のうちどれか。

- A 正当化
- B 安全教育の実施
- C 防護の最適化
- D 線量当量の適用
- E 線量限度の適用

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

[解答] 3

注) A～E: ICRP2007年勧告では、行為の正当化、防護の最適化、線量限度の適用が放射線防護の3つの基本原則として導入されている。

なお、2007年勧告の特徴として、行為と介入による防護の方法から状況に基づく方法に転換し、計画被ばく状況、緊急時被ばく状況、現存被ばく状況というすべての制御可能な被ばく状況へ3つの基本原則を適用していることが挙げられる。

参考: 改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 現場必備! 教育訓練テキスト, 日本アイソトープ協会, 丸善, 2020, 81 ページ

問3 A～Cの核種(子孫核種を含む)について、実効線量率定数の大きい方から順に並んでいるものは、次のうちどれか。

A ^{60}Co

B ^{137}Cs

C ^{241}Am

1 A > B > C

2 A > C > B

3 B > C > A

4 B > A > C

5 C > B > A

[解答] 1

注) 実効線量率定数とは、放射能が分かっている放射性同位元素があるときに、それから1 m離れた位置での空間線量率を実効線量率で表すための換算係数で、単位は $[\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}]$ である。それぞれの値は

A : ^{60}Co 0.305 $[\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}]$

B : ^{137}Cs 0.0779 $[\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}]$

C : ^{241}Am 0.00576 $[\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}]$

である。

出典：放射線施設の遮へい計算 実務マニュアル2007，原子力安全技術センター，6-35，表6.4.2

問4 単一エネルギーで十分にコリメートされた光子束に対する半価層が0.7 mmのとき、同じ材質の遮蔽板でその光子束を1/100に減弱させるのに要する厚さ[mm]として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、 $\ln 2=0.69$ 、 $\ln 10=2.3$ とし、散乱線の影響は無視できるものとする。

1 3.7

2 4.2

3 4.7

4 5.2

5 5.7

[解答] 3

注) 遮蔽板の線減弱係数を μ とした場合、光子束に対する半価層が0.7 mmであることから以下の式が成り立つ。

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu \cdot 0.7}$$

これを变形して

$$-\ln 2 = -\mu \cdot 0.7$$

$$\mu = \frac{\ln 2}{0.7}$$

一方、光子束を1/100に減衰させる厚さを x とすると、以下の式が成り立つ。

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{100} = e^{-\mu \cdot x}$$

これも上記と同様に変形して

$$-2 \cdot \ln 10 = -\mu \cdot x$$

$$\mu = \frac{2 \cdot \ln 10}{x}$$

以上より、以下の関係式が成り立つ。

$$\mu = \frac{\ln 2}{0.7} = \frac{2 \cdot \ln 10}{x}$$

$$x = \frac{0.7 \cdot 2 \cdot \ln 10}{\ln 2} = \frac{0.7 \cdot 2 \cdot 2.3}{0.69} \cong 4.67[\text{mm}]$$

実務的な手法として次のように考えることができる。半価層は光子束を半分とするために必要な遮蔽板の厚さである。半価層に対応する遮蔽板の枚数を加えながら、遮蔽を行うと

1枚→1/2, 2枚→1/4, 3枚→1/8, 4枚→1/16, 5枚→1/32, 6枚→1/64, 7枚→1/128

のように光子束は減弱する。光子束を1/100に減弱させる遮蔽板は6枚以上、7枚以下となる。

よって、1/100へ減弱させる遮蔽板の厚さは4.2 mm~4.9 mmの間となる。

問5 次の密封線源とその線源の使用時に携帯するサーベイメータの検出器との関係のうち、適切なものの組合せはどれか。

- A ^{60}Co — 電離箱
- B ^{63}Ni — ZnS(Ag)シンチレーション検出器
- C ^{85}Kr — GM計数管
- D ^{252}Cf — BF_3 比例計数管

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) A : 正 ^{60}Co は 318 keV の β 線と 1173, 1333 keV の γ 線を放出する。

電離箱は 30 keV から 2 MeV のエネルギー範囲にある、 β 線、 γ 線、X 線の検出に適している。

B : 誤 ^{63}Ni は β 線を放出するため電離箱や GM 計数管などが利用される。

ZnS (Ag) シンチレーション検出器は、粉末状の微結晶であるため光の透過性が悪く、ごく薄い膜状に塗布して使われるため、飛程の短い α 線の測定に限られる。

C : 正 ^{85}Kr は 687 keV の β 線だけでなく、0.4 %程度であるが 517keV の γ 線も放出する。

GM 計数管は β 線だけでなく γ 線や X 線の検出も可能で、エネルギー範囲は β 線で 20 0 keV から 3 MeV、 γ 線や X 線で 5 keV から 3 MeV である。

D : 正 ^{252}Cf 中性子線

参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 現場必備！教育訓練テキスト，日本アイソトープ協会，丸善，2020，24 ページ

問6 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 ZnS(Ag)シンチレーション検出器は、 α 線を測定することができる。
- B NaI(Tl)シンチレーション検出器は、冷却して使用する必要がある。
- C プラスチックシンチレーション検出器は、高速中性子を測定することができる。
- D 液体シンチレーションカウンタでは、ほぼ100%の幾何学的効率で β 線を測定できる。

1 ACDのみ 2 ABのみ 3 BCのみ 4 Dのみ 5 ABCDすべて

[解答] 1

注) A～D: シンチレーション検出器の測定原理は、放射線が入射するとシンチレータは微弱な光を発生する。この光を光電子増倍管で電流に変換して増幅し、パルス信号とする。このパルス信号を計数することにより放射線を測定する。

主として γ (X) 線用ではNaI (Tl), CsI (Tl) などのシンチレータが用いられ、 β 線用ではプラスチックシンチレータ、 α 線ではZnS (Ag) のシンチレータが使用される。NaI (Tl) シンチレーション検出器は常温でも使用可能であるが、単結晶のため温度変化に弱く、潮解性があるため密閉されたアルミニウムの容器に入れられている。

プラスチックシンチレーション検出器での高速中性子の検出は、主として $^1\text{H} (n, n) ^1\text{H}$ 反応からの反跳陽子を測定することによって行われる。

液体シンチレーションカウンタでは、試料が検出器に相当する液体シンチレータに溶かし込まれているため 4π ジオメトリで計測でき、試料から放出された放射線が効率良くシンチレータを発光させるので計数効率が高い。液体中のトリチウムの測定に広く利用されている。

問7 蛍光ガラス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 ラジオフォトルミネセンスを利用している。
- B 紫外線照射により積算線量が初期化される。
- C フェーディングは実用上無視できるほど小さい。
- D 作業中にいつでも被ばく線量を表示できる。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

[解答] 2

注) A～D: 蛍光ガラス線量計は、ラジオフォトルミネセンス (RadioPhotoLuminescence : RPL) 現象を利用した固体線量計である。線量計を構成する銀イオンを含有した銀活性リン酸塩ガラス素子に放射線を照射すると、RPL 中心が形成される。このRPL 中心は紫外線照射により励起され、安定状態に戻るときにオレンジ色のRPL を発光する。この発光量は吸収線量に比例しており、読み取り装置で発光量を読み取る。放射線の照射によって形成されたRPL 中心は非常に安定しているため、蛍光ガラス線量計は紫外線や読み取り操作等による消滅がなく、フェーディングの影響が極めて小さいなど優れた特性を持つ。蛍光ガラス線量計はTLD と異なる

(令和2年度) 第2種実務

り、何度でも繰り返し読み取りができ、安定状態にある RPL 中心はアニール処理で消失するため繰り返し使用が可能である。

問 8 個人被ばく線量の測定・評価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 体外計測において被検者の衣類や皮膚に放射性物質が付着している場合、測定結果が過大評価されるおそれがある。
- B 内部被ばく線量評価には、空气中放射性物質の濃度から体内への摂取量を推定する方法がある。
- C 末端部（手、足等）が局所的に高線量の被ばくを受けるおそれがある場合には、その部位に線量計を装着する必要がある。
- D 高線量率の作業環境においては、作業計画を超えた被ばくを防止するため、アラーム付個人線量計を用いることが有効である。

1 ACDのみ 2 ABのみ 3 BCのみ 4 Dのみ 5 ABCDすべて

[解答] 5

注) A：正 放射性同位元素の取り扱い作業後には、手、足、袖口、衣服表面、履物などの汚染検査を行い、汚染がないことを確認することが大切である。

B：正 内部被ばくのモニタリングは直接法と間接法に大別できる。

直接法は、体外に位置する放射線検出器により体内負荷量を直接的に評価する方法である。一方、間接法には(1)被検者の尿、糞、血液などの生体試料を利用するバイオアッセイ法、(2)大気塵捕集などで空气中放射能濃度を測定し、吸入摂取量、作業時間を考慮して計算する方法がある。問 12 の II の M、N 参照

C：正 放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則第 20 条および電離放射線障害防止規則第 8 条第 3 項第 3 号

D：正 作業中は、被ばく線量を随時読み取れるポケット線量計やアラームメータなどの警報器付きの個人被ばく線量計を着用し、作業途中で被ばく線量をチェックすることも外部被ばく低減に有用である。

問 9 事故時の対応として放射性物質による身体汚染防止のため防護服を着用する場合に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。ただし、防護服の着用は 1 重とする。

- A ゴム手袋は、防護服の袖口の上にかぶせ、境目をテープでシールする。
- B 個人線量計を着用する。
- C 防護服を脱ぐときは、汚染管理のできる、指定された場所で行う。
- D 防護服を脱ぐときは、手袋をすべて脱ぎ、素手になってから行う。

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 ゴム手袋は、ガムテープなどでシールすることで、作業中に肌が露出することを防ぐ。

(令和2年度) 第2種実務

B: 正 防護服の下に装着するため、警報器付きの個人被ばく線量計が望ましい。

C: 正 汚染拡大防止の観点から、防護服を脱ぐときは汚染管理ができる場所で行う。

D: 誤 手袋は防護服を脱いだ後、最後に外す。

参考: 改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 現場必備! 教育訓練テキスト, 日本アイソトープ協会, 丸善, 2020, 42 ページ

問 10 漏えいした放射性物質の除染に関する基本的な対処法として、適切なものの組合せは次のうちどれか。

A サーベイメータなどで直接表面測定をして汚染規模を確認する。

B 汚染発生から十分に時間が経過し、床や壁への固着や浸透が進んでからの方が除染は容易である。

C 汚染箇所を紙タオルなどでできる限り拭き取ってから除洗剤を使用する。

D 傷口が汚染したときには、直ちに大量の流水で洗う。

1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

[解答] 3

注) A: 正 汚染が発見された場合、効率的に、効果的に除染を行う必要がある。このためには、汚染したものの材質や表面状態などを調べ、汚染の範囲をサーベイし、汚染箇所をマークしておく。

B: 誤 汚染が固着してしまわないうちに除染を行う必要があり、わずかな汚染であっても放置せず、直ちに除去するように心掛ける。

C: 誤 汚染が発生した場合には、汚染箇所を広げないことが原則である。液体の場合は吸取り紙や布で吸い取り、粉末は粘着テープや濡らした布などでできるだけ回収する。初めから強力な除染剤による除染を行うと、逆に汚染が拡大する恐れがあるため、最初は上記のようなできるだけ緩やかな方法で、なるべく多くの汚染を回収する。

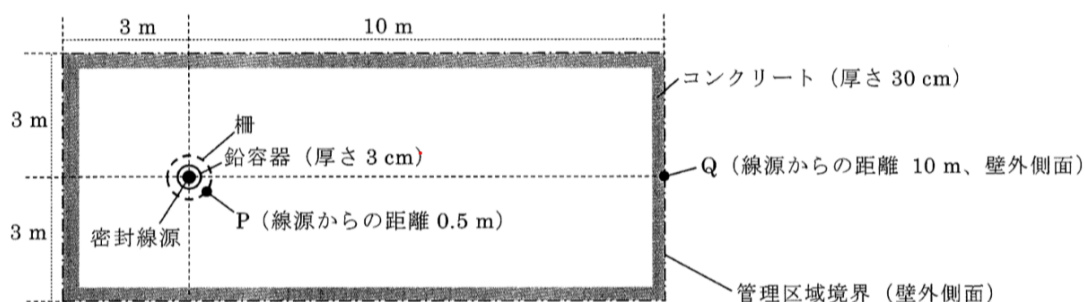
D: 正 怪我の部位に汚染がある場合、小さな怪我では水洗で血を洗い出すように除染し、応急処置をした後に産業医のところへ連れて行き治療を行う。大きな怪我の場合は、救急医療を優先する。

参考: 改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 現場必備! 教育訓練テキスト, 日本アイソトープ協会, 丸善, 2020, 48 ページ

問 11 次の I、II の文章の () の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを 1 つだけ選べ。

I ある事業所の γ 線照射施設において、 ^{137}Cs 密封線源 (300 MBq) 1 個を装備した照射装置の設置を計画しており、設置に伴う実効線量を評価することとした。 γ 線照射施設の照射室は平屋建てであり、下図に示すように、コンクリート壁 (厚さ 30 cm) で囲まれており、その壁の外側面を管理区

域境界とする。また、線源は点線源とみなす。



照射室の平面図

密封線源はシャッター付き鉛容器（容器、シャッターともに厚さ 3 cm）に収納し、シャッターの開閉は操作室からの遠隔操作によって行う。γ 線ビームは、上図の線量評価点 Q 方向に、よくコリメートされている。また、γ 線の照射は、照射室に人がいないことを確認してから行われる。さらに、線源周辺には、人が立ち入ることができないよう半径 0.5 m の柵を設ける。

人が常時立ち入る場所における実効線量の評価時間は、1 週間につき 40 時間（1 日につき 8 時間 × 5 日）とし、管理区域境界における実効線量の評価時間は、3 月間につき 500 時間とする。また、散乱線の影響は無視できるものとし、評価には以下に示す値を用いることとする。

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	
		鉛3 cm	コンクリート30 cm
^{137}Cs	7.8×10^{-2}	5.0×10^{-2}	8.4×10^{-2}

人が常時立ち入る場所で最も線量率の高くなる点は、シャッターが閉まった状態での線量評価点 P（線源からの距離 0.5 m）である。この点における実効線量は 1 週間につき（A）mSv となる。また、管理区域の境界で最も線量率の高くなる点は、シャッターを開けた状態での線量評価点 Q（線源からの距離 10 m）である。この点における実効線量は 3 月間につき（B）mSv となる。

法令で定める人が常時立ち入る場所における実効線量の線量限度は 1 週間につき（C）mSv、管理区域の設定に係る実効線量は 3 月間につき（D）mSv であり、評価結果は法令に定める実効線量を下回っている。

本 γ 線照射施設において使用する密封線源の ^{137}Cs は、半減期約（E）年であり、β⁻壊変し大部分は（F）となり、エネルギー（G）keV の γ 線を放出し（H）となる。

この事業所では、 ^{137}Cs 密封線源の放射能が現在の約 2/3 に減衰したら線源を交換することとしているため、約（I）年後に交換することとなる。なお、ln2、ln3 をそれぞれ 0.69、1.1 とする。

<A、B の解答群>

- | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 1.9×10^{-4} | 2 3.2×10^{-4} | 3 3.4×10^{-3} | 4 9.9×10^{-3} |
| 5 3.2×10^{-2} | 6 6.0×10^{-2} | 7 1.9×10^{-1} | 8 1.0×10^0 |
| 9 3.0×10^0 | 10 3.2×10^1 | 11 9.9×10^1 | 12 2.4×10^2 |
| 13 9.9×10^2 | 14 1.9×10^3 | | |

(令和2年度) 第2種実務

<Cの解答群>

1 0.1 2 0.3 3 0.5 4 1 5 5

<Dの解答群>

1 0.5 2 1.3 3 2.4 4 10 5 20

<E~Iの解答群>

1 3.2 2 5.3 3 18 4 30 5 551
6 662 7 1,330 8 ^{135m}Ba 9 ^{135}Ba 10 ^{135m}La
11 ^{135}La 12 ^{137m}Ba 13 ^{137}Ba 14 ^{137m}La 15 ^{137}La

II 作業者の外部被ばく線量を測定するため、個人被ばく線量計が用いられる。一般的に使用される線量計には、(J)を検出素子とするOSL線量計、(K)などを検出素子とする熱ルミネセンス線量計(TLD)、(L)ガラスを検出素子とする蛍光ガラス線量計などがある。

実効線量に対応した線量計による測定量は、(M)線量当量である。その他に等価線量に対応した線量計による測定量として(N)線量当量と(O)線量当量があるが、実用的には、(N)線量当量は評価せずに、(O)線量当量又は(M)線量当量のうち値の大きい方を採用することが多い。

比較的能量の低い γ 線(^{241}Am から放出される γ 線(60 keV)など)から、作業者の体幹部の被ばく線量を下げするためには、頭頸部を除いた体幹部を覆う鉛含有の防護衣(鉛エプロン)は有効である。しかし、このときには、作業者の体が防護衣によって覆われた部分と覆われていない部分とで(M)線量当量の値に大きな差が生じる(P)の可能性があるので、次のような管理が必要となる。一般的に防護衣の着用に伴う個人被ばく線量管理においては、線量計を胸部又は腹部(防護衣の(Q))と(R)に着用し、次式により実効線量Eを評価する。

$$E=0.11 H_a+0.89 H_b$$

ここでの係数、「0.11」及び「0.89」は、ICRPの1990年勧告における(S)を考慮して決められた値である。また、「 H_a 」は、(R)に着用した線量計から得た(M)線量当量、「 H_b 」は胸部又は腹部に着用した線量計から得た(M)線量当量である。

<J~Lの解答群>

1 CaSO_4 (Tm) 2 銀活性リン酸塩 3 CdTe
4 酸化アルミニウム 5 写真乳剤 6 シリコン半導体
7 ハロゲン化銀

<M~Oの解答群>

1 1 μm 2 3 μm 3 70 μm 4 1 mm 5 3 mm
6 1 cm 7 3 cm 8 7 cm

<Pの解答群>

1 均等被ばく 2 不均等被ばく

<Qの解答群>

1 外側 2 内側 3 外側、内側どちらでもよい

(令和2年度) 第2種実務

<Rの解答群>

- 1 頭頸部 2 背面部 3 手部

<Sの解答群>

- 1 質量数 2 放射線荷(加)重係数 3 実効線量係数
4 組織荷(加)重係数

[解答]

- I A-7 B-4 C-4 D-2 E-4 F-12 G-6 H-13 I-3

注) A: 実効線量率定数と鉛 3cm の実効線量透過率を用いて計算する。

$$7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{MBq})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 300 [\text{MBq}] \times 40 [\text{h}] \times \frac{1}{0.5^2} [\text{m}^{-2}] \times 5 \times 10^{-2} \\ = 187 \mu\text{Sv} \cong 0.19 \text{mSv}$$

B: Aと同様に計算できる。実効線量率定数とコンクリート 30cm の実効線量透過率を用いて計算する。

$$7.8 \times 10^{-2} \times 300 \times 500 \times \frac{1}{10^2} \times 8.4 \times 10^{-2} = 9.83 \mu\text{Sv} \cong 9.9 \times 10^{-3} \text{mSv}$$

C: 場所に対する線量限度によると施設内の常時人が立ち入る場所における外部放射線の線量当量は実効線量で 1mSv/週と定められている。

告示 放射線を放出する同位元素の数量を定める件 第10条

D: 場所に対する線量限度によると管理区域の境界における外部放射線の線量当量は実効線量で 1.3 mSv/3月と定められている。

告示 放射線を放出する同位元素の数量を定める件 第4条

E: ^{137}Cs の半減期は約 30.1 年である。

F~H: ^{137}Cs は β^- 壊変により $^{137\text{m}}\text{Ba}$ になる。これが核異性体転移により安定な ^{137}Ba となる。

核異性体転移: α 壊変, β 壊変で生成した娘核種の原子核は励起状態にあることが多く, この励起状態のエネルギーを電磁波 (ガンマ線) として放出し, 安定な状態へと転移する。この際, 励起状態がある程度持続する場合は, 励起状態と安定状態を区別でき, 励起状態にある核を $^{137\text{m}}\text{Ba}$ のように質量数の後に m をつけてあらわす。

参考: 改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 現場必備! 教育訓練テキスト, 日本アイソトープ協会, 丸善, 2020, 15 ページ

I: 放射壊変の式に従い計算をする。

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

N_0 は当初の放射能, N は t 時間経過後の放射能, λ は壊変定数とする。放射能が $2/3$ に減衰する時の時間 t は

$$\ln \frac{2/3}{1} = -\frac{\ln 2}{T} t$$

と表される。ここで T は半減期である。式を展開すると

$$\ln 2 - \ln 3 = -\frac{t}{T} \ln 2$$
$$t = T \frac{\ln 3 - \ln 2}{\ln 2} = 30 \times \frac{1.1 - 0.69}{0.69} = 17.8 \cong 18 \text{ 年}$$

となる。問 12 のアも参照

II J-4 K-1 L-2 M-6 N-5 O-3 P-2 Q-2 R-1 S-4

注) J: OSL 線量計はイメージングプレートと同じ原理である光輝尽発光を利用している。線量計として実用化されているのは酸化アルミニウムをシート状にしたものである。放射線の照射により酸化アルミニウム中に蓄積されたエネルギーは緑色の LED 又はレーザー光を素子に当てることにより、紫色の発光として放出される。この紫色の光の強度を読み取ることで線量を知ることができる。

K: 放射線を照射した後、数 100 °C に加熱すると、吸収線量に比例した蛍光を発する。この蛍光を測定することにより線量を知ることができる。この熱蛍光物質には $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ や $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Tb}$ などが利用されている。

L: 放射線に被ばくした銀活性リン酸塩ガラスを紫外線で刺激することにより、オレンジ色の蛍光を発する現象をラジオフォトルミネッセンスと言い、この原理を利用しているのが蛍光ガラス線量計である。問 7 も参照

M~O: 実効線量および眼と皮膚以外の臓器及び組織に対する等価線量に対応する測定のための実用的な量として 1 cm 線量当量が定義されている。眼の水晶体に対する等価線量、皮膚に対する等価線量に対応する測定のための実用的な量として 3 mm 線量当量および 70 μm 線量当量が定義されている。

P: 防護衣の有無により全身が均等に被ばくするわけではない場合は不均等被ばくとして実効線量を算定する必要がある。

Q~S: 「外部被ばくおよび内部被ばくの評価法に係る技術的指針」(平成 11 年(1999 年) 4 月放射線審議会)によれば、不均等被ばくの評価において、胸部・上腕部(女子では腹部・大腿部)の他、線量当量が最大となるおそれのある部位の 1 センチメートル線量当量を測定するとある。

不均等被ばくの場合の外部被ばくによる実効線量は

$$E = 0.08H_a + 0.44H_b + 0.45H_c + 0.03H_m$$

E: 外部被ばくによる実効線量

H_a : 頭頸部における 1 cm 線量当量

H_b : 胸部および上腕部における 1 cm 線量当量

H_c : 腹部および大腿部における 1 cm 線量当量

H_m : 頭頸部、胸部・上腕部および腹部・大腿部のうち外部被ばくによる線量当量が最大とな

(令和2年度) 第2種実務

るおそれのある部位における1 cm線量当量である。

均等被ばくの場合の外部被ばくによる実効線量評価式の根拠となる組織加重(荷重)係数がICRP1990年勧告で変更され、これに対応するため、評価式は上の式のように定義された。

なお、鉛エプロンを着用し、頭頸部と胸部(鉛エプロンの内側)とにつけた2つの個人線量計から評価する場合には

$$E = (0.08 + 0.03)H_a + (0.44 + 0.45)H_b$$

となる。

「国際放射線防護委員会の勧告(ICRP Pub. 60)の取り入れ等による放射線障害防止法関係法令の改正について(通知)」(平成12年10月23日)に示されているように、この計算手法は法令で規定されたものではない。

問12 ^{90}Sr 密封線源の所在不明に関する次のI~IIIの文章の()の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

I ^{90}Sr は、半減期28.8年で(A)壊変する放射性核種である。壊変生成核種(B)もまた(A)壊変する放射性核種である。(B)の放出する(A)線の最大エネルギーは、 ^{90}Sr と比べ、おおよそ(C)である。 ^{90}Sr 密封線源では、これら両核種は、(D)の状態にある。

ある事業所において、厚さ計に用いる ^{90}Sr 密封線源1個の所在不明が判明した。事業者は、法令の定めるところにより、その旨を、直ちに(E)に報告するとともに、遅滞なく(F)に届け出た。この線源の放射能は事業所への受入れ時370 MBqであった。受入れ後、この所在不明が起きるまでに14.4年が経過しており、所在不明が起きた時点での放射能は、約(ア)MBqである。

<A~Cの解答群>

- | | | | | |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------|--------------------|
| 1 α | 2 β^- | 3 β^+ | 4 γ | 5 ^{90}Mo |
| 6 ^{90}Nb | 7 ^{90}Y | 8 ^{90}Zr | 9 1/2倍 | 10 同じ |
| 11 2倍 | 12 4倍 | | | |

<D~Fの解答群>

- | | | |
|----------|------------|----------|
| 1 永続平衡 | 2 過渡平衡 | 3 荷電粒子平衡 |
| 4 化学平衡 | 5 原子力規制委員会 | 6 環境大臣 |
| 7 文部科学大臣 | 8 保健所 | 9 警察官 |

<アの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 200 | 2 230 | 3 260 | 4 290 | 5 320 |
| 6 350 | | | | |

II このような ^{90}Sr 密封線源の所在不明で考慮される主な被ばくは、(G)線による全身への外部被ばくと、(G)線及び(H)線による皮膚への(I)被ばくである。被ばく線量を線量限度と比較するときは、全身への被ばくに対しては(J)線量が評価され、皮膚への被ばくに対しては(K)線量が評価される。もしも、診断・治療を要するような放射線障害の生じ得る状況であったなら

(令和2年度) 第2種実務

ば、対象となる身体部位に対する (L) 線量の詳細な評価が必要となる。

線源に破損があった場合は、体表面の汚染の有無に加え、放射性核種の摂取の有無も検討される。摂取の有無の確認や摂取量評価のための一般的な測定法には (M) 法と (N) 法とがある。⁹⁰Sr の摂取の有無の確認が必要とされた場合は、一般的に (M) 法が適用される。

<G~Lの解答群>

- | | | | |
|------|-----------|---------|--------|
| 1 β | 2 γ | 3 消滅放射 | 4 制動放射 |
| 5 内部 | 6 サブマージョン | 7 外部 | 8 吸収 |
| 9 照射 | 10 等価 | 11 預託等価 | 12 実効 |

<M、Nの解答群>

- | | | |
|--------|-----------|----------|
| 1 体外計測 | 2 バイオアッセイ | 3 モンテカルロ |
|--------|-----------|----------|

Ⅲ 所在不明が判明した日から2日後に、事業所敷地内の不要物品保管倉庫(以下、倉庫)で、⁹⁰Sr線源1個が装着された厚さ計の部品が発見された。事業者は、(O) 法により線源装着部の周囲を検査したが、放射性核種の漏えいは確認されなかった。また、(P) 式サーベイメータにより、倉庫外壁に近接する種々の場所で1 cm線量当量率を測定したが、自然放射線レベルを超える場所は確認されなかった。その後、当該装置部品を倉庫から運び出し、念のため、装置部品の置かれていた場所及びその周辺の床、物品等の表面を(Q) 式サーベイメータにより(H) 線測定を行い、放射性核種による表面汚染の無いことを確認した。

従業員への聞取り等から、当該装置部品を倉庫に運び込んだ者、及びその運搬経路にいた者の被ばく線量は無視できるほど小さかったことが確認され、また、当該装置部品が倉庫に運び込まれたとき以降、倉庫へ立ち入った者はいなかったことも確認された。なお、この倉庫の扉は常時施錠されている。

以上の状況から、従業員と住民への被ばくはなく、また環境への影響もなかったと判断された。

以上のような所在不明の状況とその処置について、事業者は、所在不明が生じた日から遅くとも、法令に定められた期限である(イ) 日以内に、(R) に報告することとした。

<O~Rの解答群>

- | | | |
|-------------------|---------|------------|
| 1 ストリップ | 2 コンタクト | 3 スミア |
| 4 プロット | 5 マウント | 6 端窓型GM管 |
| 7 NaI(Tl)シンチレーション | 8 電離箱 | 9 原子力規制委員会 |
| 10 国土交通大臣 | 11 環境大臣 | 12 国家公安委員会 |

<イの解答群>

- | | | | | |
|------|-----|------|------|------|
| 1 3 | 2 7 | 3 10 | 4 15 | 5 20 |
| 6 30 | | | | |

[解答]

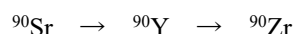
I A-2 B-7 C-12 D-1 E-5 F-9 ア-3

注) ⁹⁰Sr は ²³⁵U の誘導核分裂から生成される人工放射性同位元素である。人体に入ると大部分が骨

髄などに集まって造血器官を侵すため、2011年の福島第一原発事故でも注目されてきた。

^{90}Sr は娘核種の ^{90}Y と永続平衡を形成するため、 ^{90}Sr の密封線源からは分離直後でない限り ^{90}Sr と ^{90}Y の両方の β^- 線が検出される。 ^{90}Sr の密封線源の主な用途としては、 β^- 線源として校正線源や教育目的で使用される。なお、日本アイソトープ協会製の密封線源では公称の放射能として親核種の値が使用されている。具体的には 10 kBq (公称の放射能) の ^{90}Sr の線源を購入した場合、実際の放射性同位元素の量は 10 kBq の ^{90}Sr と 10 kBq の ^{90}Y となる。

A~D: ^{90}Sr (半減期 28.8 年) は娘核種である ^{90}Y (半減期 64.1 日) と永続平衡を形成する。



いずれの β^- 壊変においても γ 線を放出しない。 β^- 線のみを放出する。代表的な β^- 核種には他に ^3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{35}S , ^{99}Tc などが挙げられる。

C: ^{90}Sr から放出される β^- 線の最大エネルギーは 0.546 MeV, ^{90}Y の最大エネルギーは 2.28 MeV であることから、おおよそ 4 倍となる。

E, F: 放射性同位元素等の規制に関する法律 第 31 条の 2 および第 32 条, 放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則 第 28 条の 3 第 1 項第 1 号。

ア: ^{90}Sr の半減期は 28.8 年なので、14.4 年だと半減期の半分が経過したことになるから、放射能は受け入れ時の $1/\sqrt{2}$ 倍になっている。

$$370 [\text{MBq}] \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 261.6 [\text{MBq}] \cong 260 [\text{MBq}]$$

なお、受け入れ時の放射能は 370 MBq と記載しているが、 ^{90}Sr だけの放射能なのか、総放射能なのかの記載はないため、解答群の選択肢から後者の状況であることを判別する必要がある。

補足として、問 11 の I を参考に

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

より、

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\frac{\ln 2}{T} t$$

ここで、 N_0 は当初の放射能、 N は t 時間経過後の放射能、 λ は壊変定数、 T は半減期とする。

題意より t は半減期の半分の時間とすると $t = 1/2 T$ なので、代入して

$$\begin{aligned} \ln \frac{N}{N_0} &= -\frac{\ln 2}{2} \\ \ln \frac{N}{N_0} &= \ln 2^{-\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

対数を外して

$$\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$N = \frac{1}{\sqrt{2}} N_0$$

となる。

II G-4 H-1 I-7 J-12 K-10 L-8 M-2 N-1

注) G、H：先に述べたように、 ^{90}Sr とその娘核種である ^{90}Y は、 β^- 壊変の際に、どちらも γ 線を放出しない。一方で、 ^{90}Y から放出される β^- 線の最大エネルギーは2.28 MeVと大きいため、制動放射による制動放射(X)線の放出が観察される。 ^{90}Y の最大飛程はおおよそ1000 mg/cm²(空気中では約900 cm)と β^- 線の中では大きいですが、X線と比較すると全身被ばく(体内部の被ばく)への影響は小さいと推測される。そのため、Gが制動放射(X)線、Hが β^- 線となる。

I：密封線源による被ばくであるため、体内に侵入することは考えにくく、外部被ばくとするのが妥当である。

J~L：全身への被ばくを考慮するには、人体部位ごとの等価線量に組織荷重係数をかけ、全身の値として実効線量を使用する。人体の部位のみの被ばくを考慮する場合には等価線量を用いる。放射線による障害が予想される場合(確定的影響)には吸収線量を使用する(参考：改訂版 よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱 現場必備! 教育訓練テキスト, 日本アイソトープ協会, 丸善, 2020, 20~22 ページ)。問1も参照

預託等価線量とは、摂取後ある組織・臓器にある期間に与えられる等価線量率の時間積分値のことを指す。実効半減期の長い核種による内部被ばくの評価に用いられる。時間積分(預託期間)は、職業被ばく及び公衆の成人に対して50年、子供や乳幼児に対しては摂取から70歳までの年数とされている。

M, N：内部被ばくの測定には、ホールボディーカウンターを用いて外部に漏出する放射線から検出する対外測定法と、排泄物に含まれる放射能を測定するバイオアッセイ法がある。 γ 線やX線を直接放出しない ^{90}Sr の場合は、バイオアッセイ法により正確に測定できる。問8も参照

III O-3 P-7 Q-6 R-9 イ-3

注) O：表面汚染の測定では、サーベイメータを近づけて直接測定する直接法と、ろ紙などでふき取り、サーベイメータやシンチレーションカウンタなどで測るスミア法がある。電磁波を放出しない ^{90}Sr の場合は、端窓型GM管であっても直接法ではわずかな漏えいを見落とす可能性がある。また、線源付近の放射性同位元素の漏えい検査を行う際には、線源からの放射線をサーベイメータが検出してしまうため直接法で漏えい検査はできない。このため、いったん周辺をろ紙等で拭い、そこへ付着した放射性同位元素を別の場所で測定するスミア法が利用される。

(令和2年度) 第2種実務

P: 1 cm線量当量率の測定では人体の深い位置にある臓器へ影響を及ぼすことを想定しているため、透過性の高い γ 線やX線の測定に適しているNaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータで測定することが妥当である。ここでは ^{90}Y の β^- 線による制動放射線が対象となる。

Q: β^- 線のみを放出する ^{90}Sr の場合、表面汚染の測定は β^- 線に対して高感度である端窓型GM管で行う。

イ, R: 放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則第28条の3第1項