

管理技術 I

放射性同位元素による放射線障害の防止に関する管理技術 I

(法律別表第 1 に掲げる課目 (2) ~ (6) 及び (7) を含む)

試験が始まる前に、このページの記載事項をよく読んでください。裏面以降の試験問題は、指示があるまで見てはいけません。

1 試験時間 : 10:00~11:45 (1 時間 45 分)

2 問題数 : 5 題 (15 ページ)

3 注意事項 :

- ① 机の上に出してよいものは、受験票、鉛筆又はシャープペンシル (HB 又は B)、鉛筆削り、消しゴム、時計 (計算機能・通信機能・辞書機能等の付いた時計は不可) に限ります。
- ② 計算機 (電卓)、定規及び下敷きの使用は認めません。
- ③ 不正行為等を防止するため、携帯電話等の通信機器は、必ず、電源を切ってカバン等の中に入れてください。
- ④ 問題用紙の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁又は解答用紙の汚れなどに気付いた場合は、手を挙げて試験監督員に知らせてください。なお、試験問題の内容に関する質問にはお答えできません。
- ⑤ 試験終了の合図があったら、ただちに筆記用具を置いてください。
なお、試験監督員が解答用紙を集め終わるまで、席を離れてはいけません。
- ⑥ 問題用紙は持ち帰っていただいて結構です。
- ⑦ 不正行為を行った者は、受験を中止させ、退場を命じます。

4 解答用紙 (マークシート) の取扱いについて :

- ① 解答用紙を折り曲げたり汚したりしないでください。また、所定の欄以外の余白には、何も記入しないでください。
- ② 筆記用具は、鉛筆又はシャープペンシル (HB 又は B) を使用してください。また、記入を訂正する場合は、消しゴムできれいに消してください。
- ③ 解答用紙の所定の欄に氏名・受験地・受験番号を忘れずに記入してください。特に、受験番号は受験票と照合して間違えないよう記入してください。
- ④ 解答は、所定の欄に 1 つだけ選択 (マーク) してください。2 つ以上選択している場合は、採点されません。

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、の場合に起きやすい。体幹部を含む全身が、 γ 線や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といい、チェルノブイリ原発事故での事故処理緊急作業員等で発症例が報告されている。

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、の損傷によるけいれん痙攣、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、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 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、長いものでは十数年～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 |
|---------|---------|---------|

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、パルスの高さと同じく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。この検出器はサーベ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 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、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げ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、パルスが発生してから 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を 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 秒のうち秒であるから、 n_0 と n の関係は、 $n_0 =$ 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 | | | |

<A、I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 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 、の補正係数を f_r 、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、

$$n = SGf_r f_a f_b f_s$$

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, また β 線のエネルギーが高いほどなる。

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 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% であり、数え落としを補正した計数率は 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 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	<input type="text" value="エ"/>	
数え落としを補正した計数率 [cps]	700	<input type="text" value="オ"/>	<input type="text" value="カ"/>
S の推定値 [kBq]	<input type="text" value="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

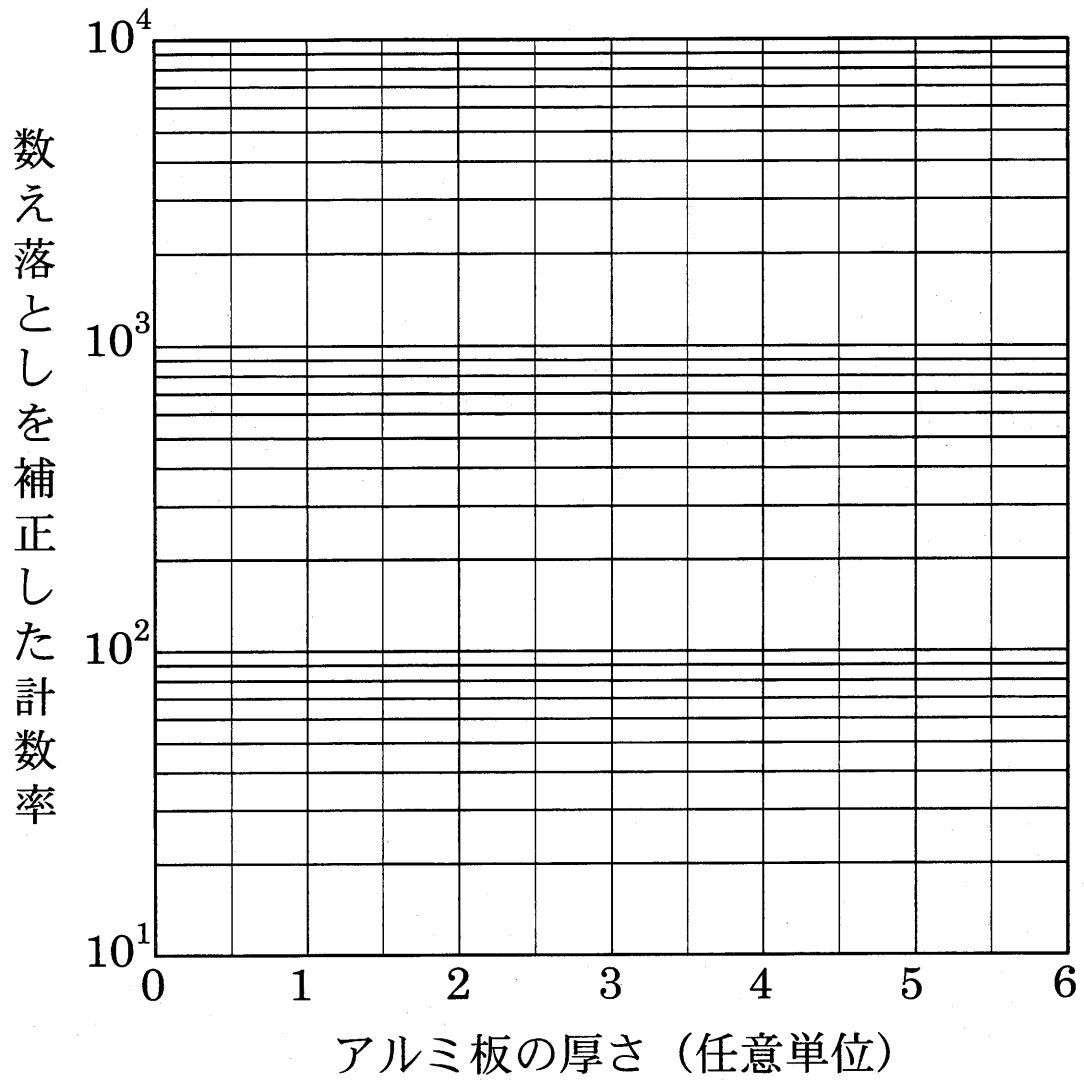
<ウ、エの解答群>

- 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



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 □ A □ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 及び □ 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、□ 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 □ 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 □ D □ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 及び □ 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、□ 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 □ 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余裕があるため、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15hから40h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、 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 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、による防護、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、による防護は、作業者が装着する一般的な防護具である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、線源の持ち運びになどを用いる“による防護”の方が効果的である。

一方、による防護が有効な核種としては、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、も放出することから、測定器にはに対する感度の高い式サーベイメータを用いるのがよい。一般的な検査の方法としては、測定対象に検出器をさせて測定する直接測定法と、測定対象をなどでふき取り、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 |

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 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 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 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 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 の 2 つの量が測定され、前者より が、後者より の等価線量が算定される。 の等価線量については、一般的に、1 cm 線量当量と のうち適切な方とされる。また、 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 | |

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・OH、・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あ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 μ m

II 化学的過程では、 $\cdot\text{OH}$ ラジカルどうしの反応で $\boxed{\text{G}}$ が生成される。また、 $\boxed{\text{C}}$ は酸素分子と反応し、スーパーオキシドラジカル $\cdot\text{O}_2^-$ が生成される。 $\cdot\text{OH}$ ラジカル、 $\cdot\text{O}_2^-$ 、 $\boxed{\text{G}}$ 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 $\cdot\text{OH}$ ラジカルに着目すると、 $\boxed{\text{H}}$ 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 $\boxed{\text{I}}$ 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 $\boxed{\text{J}}$ し、放射線の生物照射効果において $\boxed{\text{I}}$ 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 $\boxed{\text{I}}$ をもっているのでラジカル $\boxed{\text{J}}$ 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 $\boxed{\text{J}}$ 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、 $\boxed{\text{K}}$ 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 | | |

<I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 | |

