

## 管理測定技術

放射性同位元素及び放射線発生装置による放射線障害の防止に関する管理技術並びに放射線の測定技術に関する課目（法律別表第 1 に掲げる課目（2）、（3）及び（4）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：6 題（17 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しまってください。
- 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又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

外部被ばく管理における $\gamma$ 線の線量測定は、作業環境の線量測定と作業者自身の個人線量測定に大別される。これらの測定で対象とする実用量はそれぞれ異なり、放射線測定器も使い分けられている。また、測定器の指示値の校正についても異なる方法がとられている。

Ⅰ 作業環境の線量測定に用いるサーベイメータには、電離箱、GM計数管、シンチレーション検出器などの放射線検出器が利用される。サーベイメータの使用にあたっては、これらの特徴を十分に把握しておくことが重要である。

電離箱では、 $\gamma$ 線と電離箱内部の空気やそれを取り囲む壁材などとの相互作用の結果生じた電子による□A電流を測定することにより、空気カーマ(率)にほぼ相当する量が得られる。このため、電離箱は線量当量へ換算するのに適しているが、GM計数管やシンチレーション検出器に比べて□Bが低く、測定対象とする線量率に応じた適切な使用が必要である。

GM計数管では、ガイガー□Cを利用したパルス計測のため、電子回路が比較的簡単ではあるが、そのパルスは放射線のエネルギー情報を持たない。また不感時間が長いため、高線量率では□D現象による指示値の低下に注意することも必要である。

シンチレーション検出器では、NaI(Tl)、CsI(Tl)、LaBr<sub>3</sub>(Ce)など、密度や□Eが高いシンチレータを選択することにより高い□Bが得られ、低い線量率の場での使用にも適している。

GM計数管式やシンチレーション検出器式のサーベイメータは、電離箱式サーベイメータに比べて□Fが良くない。しかしながら、NaI(Tl)シンチレーション検出器式サーベイメータでは、パルスの□Gを利用して、□Fを補償する機能を付加することが可能である。

<A～Gの解答群>

- |            |           |           |
|------------|-----------|-----------|
| 1 放電       | 2 発光      | 3 窒息      |
| 4 再結合      | 5 電離      | 6 励起      |
| 7 時定数      | 8 波高      | 9 方向特性    |
| 10 エネルギー特性 | 11 発光減衰時間 | 12 実効原子番号 |
| 13 感度      | 14 校正定数   |           |

Ⅱ 個人線量測定に用いる線量計には、受動型線量計と能動型線量計があり、いずれも体表面に密着させて測定できるよう工夫されている。

受動型線量計では、一定期間を経て検出素子に蓄積された線量情報を読み取り、積算線量を測定する。かつては□Hが主流であったが、近年は発光現象に基づいた線量計に代わっている。

I 線量計では、 $\gamma$ 線照射により形成された蛍光中心をパルス紫外線で励起することで生じる発光を利用している。同様に発光現象に基づくが、光刺激による発光（輝尽発光）を利用する J 線量計、また熱を外部刺激とした発光を利用する線量計もある。

その他には、原理的に空気の電離量の測定に基づくが、低い線量まで使用できる K 線量計などもある。

能動型線量計には、L 半導体検出器を用いた電子式線量計が多く、測定中においても積算線量や線量率を読み取ることができ、M としても使用できる。

<H～Mの解答群>

- |             |           |           |
|-------------|-----------|-----------|
| 1 シリコン      | 2 ゲルマニウム  | 3 OSL     |
| 4 DIS       | 5 TLD     | 6 蛍光ガラス   |
| 7 アラニン      | 8 エッチピット  | 9 フィルムバッジ |
| 10 スペクトロメータ | 11 警報付線量計 | 12 絶対測定器  |
| 13 表面汚染検査計  |           |           |

III  $\gamma$ 線の線量測定に使用する放射線測定器は、指示値が目的の実用量を示すように、N とのトレーサビリティが明確な $\gamma$ 線場において校正されていることが必要である。 $^{137}\text{Cs}$  $\gamma$ 線源を使用する作業場での実用量に関する校正において、作業環境の測定に用いるサーベイメータは、 $\gamma$ 線場の特定の位置に線量計をそのまま置いて行う。一方、個人線量計の校正では、アクリル樹脂などで作られた O に線量計を取り付けて $\gamma$ 線場に置く必要がある。

作業環境の線量測定を行うに際して、 $^{137}\text{Cs}$ の標準点線源（1mの距離における線量率： $36\ \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 、不確かさ： $2.2\ \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ）を用いてサーベイメータを校正し、校正定数を求めることとした。散乱線及びバックグラウンドの影響が無視できる条件下で、線源から0.80m（距離の不確かさ：0.01m）の位置にサーベイメータを置き、指示値を繰り返し読み取った。その結果、指示値の平均値は $62\ \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 、その不確かさは $5.0\ \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ であった。線源からの距離の P 則に従い、この校正作業の結果求められる校正定数の値は約ア、また、各パラメータの不確かさが標準偏差で与えられているとすると、校正定数の合成された相対標準不確かさは約イ%になる。

<N～Pの解答群>

- |        |          |          |        |
|--------|----------|----------|--------|
| 1 遮蔽板  | 2 ICRU球  | 3 ファントム  | 4 吸収板  |
| 5 国家標準 | 6 エンドユーザ | 7 日本工業規格 | 8 指数関数 |
| 9 逆2乗  | 10 比例    | 11 反比例   |        |

<ア、イの解答群>

- |        |        |        |       |       |
|--------|--------|--------|-------|-------|
| 1 0.58 | 2 0.73 | 3 0.91 | 4 1.1 | 5 1.4 |
| 6 1.7  | 7 8.5  | 8 10   | 9 12  | 10 15 |

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

Ⅰ 放射線のエネルギースペクトルを測定することは、核種の同定や複数核種の放射能の分離測定等にとって重要であり、放射線計測において基本の一つである。通常は、この目的のために、マルチチャンネル分析器(MCA)を用いて、NaI(Tl)シンチレーション検出器やGe半導体検出器など、検出器からの□A分布を測定する。しかしながら、これは、必ずしも放射線のエネルギースペクトルそのものではないため、得られたスペクトルから真の放射線のエネルギースペクトルを読み取ることが大切である。

X、 $\gamma$ 線(光子)は間接電離性放射線に属し、これを検出器によって検出、測定するためには、これらが検出器あるいはその周囲の物質と相互作用を起こして、光子エネルギーが電子や□Bの運動エネルギーに転移する必要がある。このようにして運動エネルギーを獲得した電子や□Bが検出器部の物質を電離・励起し、それにより、電気的信号や光信号等をもたらす。相互作用には、光電効果、コンプトン効果、電子対生成があり、どの相互作用を経由したかにより、□A分布は大きく異なる。光子のエネルギー分布を知るためには、全吸収ピークの解析が、特に重要である。これは、もとの光子エネルギーが検出器において全て吸収された場合に生じ、その形成には、主に光電効果が寄与する。この場合、□Cのエネルギーは入射光子エネルギーより軌道電子の結合エネルギー分だけ低い、その際、同時に放出される□Dや□Eも検出器中で吸収され、結果として、全吸収ピークを形成する。なお、□Dが検出器有感部から逃れ去った場合には、全吸収ピークより低いエネルギーの位置に□Fピークが生じる可能性があり、エネルギーの低い光子のスペクトル測定において問題となることがある。

光子エネルギー $E_\gamma$ が1.02 MeV以上の場合、電子対生成が起こり得る。この場合、電子対の生成に1.02 MeVのエネルギーを必要とする。電子対生成が検出器有感部で生じた場合、生じた電子・□Bはともに電離・励起に関与するが、□Bは、消滅するときに2本の0.51 MeV光子を放出する。この2本の0.51 MeV光子がさらに光電効果等により検出器内で吸収された場合には全吸収ピークを形成する。これら2本の光子の一方または両方が検出器から逃れ去った場合には、 $(E_\gamma - 0.51 \text{ MeV})$ 位置あるいは $(E_\gamma - 1.02 \text{ MeV})$ 位置に1光子あるいは2光子□Fピークが形成される。電子対生成が検出器・線源の間の物質中で生じた場合、全吸収ピークの形成に関与しない。

線源と検出器の間に物質が介在する場合、この介在物質中で何らの相互作用を起こさずに通過する割合は、 $\exp(-\mu x)$ である。ここで、 $\mu$ は介在物質の線□G係数[ $\text{cm}^{-1}$ ]、 $x$ は介在物質の厚さ[cm]である。したがって、その全吸収ピークの□Hは、 $\exp(-\mu x)$ に従って減少するが、MCAのピークチャンネル□Iは、検出器前面に存在する物質の有無に関係しない。光子が介在物質中でコンプトン効果を起こした場合には、散乱光子が検出器によって検出される可能性があるが、その

□ A □ は全吸収ピークよりも低いチャンネル □ I □ に連続分布し、これによる計数は、全吸収ピークに関与しない。したがって、線源が大量の水や土壌等の試料物質に分散している場合でも、全吸収ピークに着目すれば、 $\gamma$ 線のエネルギー測定やいくつかの核種の放射能の分離測定が可能となる。ただし、この場合、試料中での $\gamma$ 線の □ G □ について、評価し、これを補正する必要がある。

<A～Iの解答群>

- |          |       |        |          |
|----------|-------|--------|----------|
| 1 電子     | 2 陽電子 | 3 光子   | 4 オージェ電子 |
| 5 特性 X 線 | 6 光電子 | 7 陽イオン | 8 電子対生成  |
| 9 エスケープ  | 10 サム | 11 位置  | 12 面積    |
| 13 パルス波高 | 14 減弱 | 15 吸収  |          |

II  $\alpha$ 線や $\beta$ 線のような荷電粒子線の場合には、線源と検出器との間に物質が介在すると必ず □ J □ が生じ、そのためスペクトルは低エネルギー側にシフトする。 $\alpha$ 線のような重い荷電粒子のエネルギー測定に際してはこの現象は特に顕著である。 $\alpha$ 線スペクトル測定におけるこうした影響を最小限に抑制するためには、検出器窓や不感層が出来るだけ薄いものを用いるとともに、検出器と線源を真空槽に入れて、線源と検出器の間の空気を排気する。検出器には、不感層が薄く、かつ分解能が優れている □ A □ が通常用いられている。

5.0 MeV  $\alpha$ 線に対する空気の □ K □ は  $0.76 \text{ MeV} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{cm}^2$  であるから、線源・検出器間距離が 1 cm の場合でも、この間に 1 気圧、20℃の空気層(密度:  $1.2 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$ )が介在すると、電着線源から放出された 5.5 MeV  $\alpha$ 線のピークの位置は □ I □ MeV 相当の位置付近にまでシフトすると予想される。この際、エネルギー損失のゆらぎ(ストラグリング)や斜め入射の影響等が重なり、ピークの幅も増加する。ピーク幅の増加に伴って、ピークチャンネルにおける計数値は減少するが、これは主にピーク幅が広がったことによるものであって、この程度のエネルギーであれば、 $\alpha$ 線ピーク領域の □ L □ はあまり変わらない。これは、大きな角度で散乱する □ M □ の確率が小さいことによる。

また、試料物質(線源物質)自体の自己吸収によっても、 □ J □ を受けるので、分解能の優れたスペクトルを得るためには、線源部がきわめて薄い電着線源の使用が必要となることもある。線源が厚くなると、スペクトルの分解能は劣化する。さらに、試料物質が $\alpha$ 線の □ N □ 以上に厚い場合、エネルギー端が $\alpha$ 線エネルギーに相当する □ O □ スペクトルとなる。

$\beta$ 線はもともと連続スペクトルであるが、スペクトルの形やエネルギー端の値から、核種の推定や分離測定に活用することは、放射能の管理測定や環境試料の測定にとって有用である。 $\beta$ 線のエネルギースペクトル測定についても、線源・検出器間の物質により、 □ J □ がもたらされ、スペクトル全体が低エネルギー側にシフトする事情は変わらない。この場合、 $\beta$ 線に対する □ K □ は $\alpha$ 線の場合に比べて小さいため、真空槽の使用は通常求められないが、試料調製により、出来るだけ薄い測定試料を準備する努力は必要である。 [ $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ]単位で表した $\beta$ 線の □ N □ は $\alpha$ 線の場合に比

較して格段に大きく、エネルギーの高いβ線の全エネルギーを検出器有感部で吸収させるためには、有感部が厚い検出器を使用する必要がある。検出器の厚さが不十分であると、スペクトルの形にゆがみを生じる。また、β線は検出器の表面付近で **P** されて、検出器の外に逃れ、β線のエネルギーの一部が検出器に付与されなくなる。この現象を軽減するために、**Q** 原子番号の材料で作られた検出器を用いるのが望ましい。**ウ** もβ線スペクトル測定に有用である。この場合、自己吸収の問題や **N**、**P** の問題から逃れることが出来る。

<J~Qの解答群>

- |         |            |             |
|---------|------------|-------------|
| 1 計数損失  | 2 エネルギー損失  | 3 位置        |
| 4 面積    | 5 飛程       | 6 高い        |
| 7 低い    | 8 指数減衰型    | 9 片側ガウス状    |
| 10 台形状  | 11 コンプトン散乱 | 12 ラザフォード散乱 |
| 13 後方散乱 | 14 質量阻止能   | 15 質量減弱係数   |

<ア~ウの解答群>

- |                   |                       |       |        |
|-------------------|-----------------------|-------|--------|
| 1 比例計数管           | 2 グリッド付パルス電離箱         |       |        |
| 3 表面障壁型シリコン半導体検出器 | 4 リチウムドリフト型シリコン半導体検出器 |       |        |
| 5 液体シンチレーション計数装置  | 6 CsI(Tl)シンチレーション検出器  |       |        |
| 7 4.0             | 8 4.3                 | 9 4.6 | 10 5.0 |
| 11 5.2            |                       |       |        |

問3 次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 密封されていない放射性同位元素を使用するにあたっては、放射性同位元素の核的性質、化学的性質とともに、外部被ばくに関わる線量限度、内部被ばくに関わる濃度限度等を知っておくことが重要である。ここでは、ある施設で使用の許可を受ける際の評価計算を一例として、その施設で使用する核種毎に使用数量がどのように定められたのか、どのように実際の管理が行われているかについてまとめてみることにする。

使用施設内の、人が常時立ち入る場所では、1週間の被ばく線量を□ア mSv 以下にする必要がある。その際の、計算条件としては、使用の許可を得ようとしている全ての核種の□A 使用数量を使用頻度が高く作業室の中の最も外部被ばく線量が高くなると想定される場所で使用したとして、1時間あたりの被ばく線量を計算する。さらに、1週間の予定作業時間を乗じる。外部被ばくの計算は線源からの距離を 50 cm と想定し、 $\gamma$ 線や制動放射線による□B を評価する。その際、 $\gamma$ 線源の場合には、必要に応じ線源との間に鉛等の遮蔽体を設置することにする。

また、貯蔵施設や廃棄施設の作業中の被ばく線量も考慮する。貯蔵施設での計算では、施設の貯蔵能力で評価することになるが、使用核種が短寿命核種でない場合は、一般に□C 使用数量を貯蔵能力としていることが多い。計算に際しては貯蔵室に備えている保管容器や貯蔵箱の遮蔽厚さ等を確認する必要がある。廃棄施設では、□C 使用数量が全て保管廃棄されるものとする。短寿命核種では減衰も考慮できる。作業中に使用施設、貯蔵施設および廃棄施設に存在する線源から受ける□B を合算し、法令限度を超えないように、核種毎の数量を決めることになる。

さらに、管理区域に係わる外部放射線の線量は3月間で□B が□イ mSv を超えないようにしなければならない。その際、使用施設のみならず、貯蔵施設や保管廃棄施設から管理区域境界への線量の寄与も考慮する必要がある。その際の評価時間は管理区域境界で作業する人の実労働時間を考慮して 500 時間とする。

また、事業所境界や事業所内の居住区域では、最大となる□B が最大で3月間あたり□ウ  $\mu$ Sv を超えないようにしなければならない。その際、評価時間は□エ 時間とする。

上記の条件を満たすようにするためには、核種の□B 率定数の大きさを考慮して使用数量を検討することも必要になる。例えば、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  の3核種を使用する場合□B 率定数は□D が最も大きくなることを理解しておく必要がある。

実際に放射線の量の測定を行う際には、使用施設、管理区域境界、事業所境界等について□E 期間毎に1回測定することになる。その際、サーベイメータの指示値は□F で得られることから、□B に読みかえて評価する。同時に、作業室等の汚染検査を実施し、測定結果を記録する。

<ア～エの解答群>

- |        |          |          |       |        |
|--------|----------|----------|-------|--------|
| 1 0.1  | 2 1      | 3 1.3    | 4 5   | 5 10   |
| 6 13   | 7 24     | 8 50     | 9 100 | 10 250 |
| 11 500 | 12 2,184 | 13 8,736 |       |        |

<A～Cの解答群>

- |                           |              |              |
|---------------------------|--------------|--------------|
| 1 1日最大                    | 2 1週間        | 3 3月間        |
| 4 6月間                     | 5 年間         | 6 実効線量       |
| 7 等価線量                    | 8 1 cm 線量当量率 | 9 3 mm 線量当量率 |
| 10 70 $\mu\text{m}$ 線量当量率 |              |              |

<Dの解答群>

- |                    |                    |                     |
|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1 $^{51}\text{Cr}$ | 2 $^{60}\text{Co}$ | 3 $^{137}\text{Cs}$ |
|--------------------|--------------------|---------------------|

<Eの解答群>

- |            |           |           |
|------------|-----------|-----------|
| 1 1週間を超えない | 2 1月を超えない | 3 3月を超えない |
| 4 6月を超えない  |           |           |

<Fの解答群>

- |              |                          |              |
|--------------|--------------------------|--------------|
| 1 実効線量       | 2 等価線量                   | 3 1 cm 線量当量率 |
| 4 3 mm 線量当量率 | 5 70 $\mu\text{m}$ 線量当量率 |              |



II 密封されていない放射性同位元素を使用するにあたっては、内部被ばくに関わる評価も行う必要がある。その際には、告示別表第2を参照することが必要となってくる。告示別表第2は以下に示すように、核種毎に第一欄から第六欄までの構成となっている。告示別表第2の第二欄、第三欄に示された係数を用いて、吸入および経口摂取した場合の「オ」を求めることができる。

別表第2(第7条、第14条及び第19条関係) 放射性同位元素の種類が明らかで、かつ、一種類である場合の空气中濃度限度等

第一欄		第二欄	第三欄	第四欄	第五欄	第六欄
放射性同位元素の種類		吸入摂取した場合の「オ」係数	経口摂取した場合の「オ」係数	空气中濃度限度	排気中又は空气中の濃度限度	排液中又は排水中の濃度限度
核種	化学形等	(mSv/Bq)	(mSv/Bq)	(Bq/cm <sup>3</sup> )	(Bq/cm <sup>3</sup> )	(Bq/cm <sup>3</sup> )
<sup>3</sup> H	元素状水素	1.8×10 <sup>-12</sup>		1×10 <sup>4</sup>	7×10 <sup>1</sup>	

[以下省略]

人が常時立ち入る場所での空气中の放射性同位元素の濃度は、核種毎に「カ」使用数量に1週間あたりの使用日数と「G」を掛け、使用室の1週間あたりの総換気量で除して求める。作業室への「G」はフード内でのみ取り扱う場合、気体は0.1、液体や固体は「キ」が示されている。総換気量を求めるには、作業室毎の容積と換気回数を知っておく必要がある。次に、告示別表第2の第四欄の核種毎にその濃度限度で除して比を求め、合算し、その和が1を超えないようにする。さらに、外部被ばく線量に対する比の和と上記の比の和を合算し、1を超えないようにする。

排気中の放射性同位元素の排気口での濃度は、核種毎に「ク」使用数量に「G」を乗じ、排気浄化設備の「H」を乗じたものを、「ク」の総排気量で除して求め、告示別表第2の第五欄の核種毎の濃度限度で除してその比を求め、合算し、その和が1を超えないようにする。「I」フィルタの場合、固体状のものでは99%が捕集され、気体状のものは捕集されないとして計算する。

排水中の放射性同位元素の濃度は、排水設備から排水する際の条件で評価することになる。このためには、核種毎に「カ」使用数量に排水への「J」および、1日あたりの貯留量を考慮して貯留槽が満水になる日数を掛けて、貯留槽に排水された放射能を求めたうえで、貯留槽の容積で除して求める。核種毎に求めた濃度を告示別表第2の第六欄の核種毎の濃度限度で除してその比を求め、合算する。この比の和が1を超える場合には、希釈槽の希釈能力を考慮して最終的な比の和が1を超えないようにする。

施設の排気、排水設備の能力をもとに上記の計算を行うにあたっては、核種や化学形によって排気や排水の際の濃度限度が異なるので、比の和が1を超えないように使用数量を検討することになる。

排気監視はガスモニタ、ダストモニタを用いて行われるが、核種の同定が困難な場合には、上記と同様の使用数量をもとに計算によって排気記録を作成することができる。また、排水する際には、排水中の放射能を測定し記録をとり、濃度限度以下であることを確認することが必要になる。複数の揮発性の低いベータ線放出核種のみを同時使用している施設では、排水を蒸発乾固して、その残渣を試料皿に集め、GM管式計数装置や  で全ベータ放射能測定をし、使用核種の中で最も厳しい濃度限度との比を求め、評価することも行われている。

最後に、実際の使用にあたっては、使用記録簿から核種毎の使用数量が許可数量以下になっていることを確認しておくことが大切である。

<オ～クの解答群>

- |                 |       |         |       |
|-----------------|-------|---------|-------|
| 1 1日最大          | 2 1週間 | 3 3月間   | 4 6月間 |
| 5 年間            | 6 0   | 7 0.001 | 8 0.1 |
| 9 0.2           | 10 1  | 11 等価線量 |       |
| 12 1センチメートル線量当量 |       | 13 実効線量 |       |
| 14 被ばく線量        |       |         |       |

<G～Kの解答群>

- |              |       |                        |       |
|--------------|-------|------------------------|-------|
| 1 飛散率        | 2 拡散率 | 3 汚染率                  | 4 混入率 |
| 5 透過率        | 6 プレ  | 7 チャコール                |       |
| 8 HEPA       |       | 9 Ge 検出器               |       |
| 10 Si 検出器    |       | 11 NaI(Tl)シンチレーションカウンタ |       |
| 12 ガスフローカウンタ |       | 13 液体シンチレーションカウンタ      |       |

問4 非密封放射性同位元素の $^3\text{H}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$ を取り扱う施設がある。各使用核種の取扱いに関するI～IV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 トリチウム水は、蒸発や飛散などにより周囲を汚染しやすいので、トリチウム水を取扱う作業はフードまたはグローブボックス内で行う。空気中の放射性物質の濃度を測定するには、いったん捕集して行う方法がとられる場合が多い。トリチウム水には、□A□またはモレキュラーシーブを用いた固体捕集法や、ドライアイスなどを用いたコールドトラップによる冷却凝縮法などを利用する。気体トリチウムには、パラジウム触媒を用いてトリチウム水に変換したのち、上記の固体捕集法や冷却凝縮法を適用する。トリチウムのβ線最大エネルギーは□ア□keVであり、その放射能測定には□B□が用いられる。また、試料水は、□C□濃度の低いガラスバイアル又はポリエチレンバイアル等に入れ、水と□D□を形成する乳化シンチレータと混和して測定する。

<A～Dの解答群>

- |            |         |                  |          |
|------------|---------|------------------|----------|
| 1 アルミナ     | 2 シリカゲル | 3 酸化鉄(Ⅲ)         | 4 酸化銅(Ⅱ) |
| 5 GM管式計数装置 |         | 6 液体シンチレーション計数装置 |          |
| 7 Ge検出器    | 8 ナトリウム | 9 マグネシウム         | 10 カリウム  |
| 11 気泡      | 12 白色沈殿 | 13 エマルジョン        |          |

<アの解答群>

- |        |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|
| 1 18.6 | 2 157 | 3 249 | 4 257 |
|--------|-------|-------|-------|

II  $^{137}\text{Cs}$ は半減期約30年で  壊変して、その94%は $^{137\text{m}}\text{Ba}$ になり、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ は核異性体転移により  $\gamma$ 線 ( keV) を放出する。

非密封の $^{137}\text{Cs}$ を使用する際には作業室のフードの中で取り扱い、線源バイアルはピンセットやトングなどを使い、直接手では扱わないようにする。 $^{137}\text{Cs}$ (塩化物)の50 MBqが入ったガラスバイアルを鉛の外容器から取り出してバット内に置き、バイアルから50 cmの距離で5時間作業を行った。バイアルの遮蔽効果を無視すると作業者の実効線量は  $\mu\text{Sv}$ となる。

遮蔽用の衝立には鉛板を用いる。 $^{137}\text{Cs}$ の $\gamma$ 線に対する鉛の半価層の最も近い値は cmである。また、線源バイアルと作業者の距離を変えずに線量率を10分の1にするために線源の入ったガラスバイアルを鉛板で遮蔽するには、その厚さ1 cmの板が少なくとも 枚必要である。

ただし、 $^{137}\text{Cs}$ の実効線量率定数は $0.078 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}$ 、 $\gamma$ 線に対する鉛の質量減弱係数は $0.11 \text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 、鉛の密度を $11.4 \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ とし、ビルドアップの影響は無視した。

<イの解答群>

1  $\alpha$                       2  $\beta^-$                       3  $\beta^+$                       4 EC

<ウの解答群>

1 159                      2 514                      3 662                      4 835                      5 1,369

<エの解答群>

1 16                      2 24                      3 37                      4 78                      5 87

<オの解答群>

1 0.1                      2 0.6                      3 2.8                      4 5.6                      5 7.3

<カの解答群>

1 1                      2 2                      3 3                      4 4                      5 5

III ヨウ素のトレーサー実験には $^{125}\text{I}$ (半減期 59.4 日)や $^{131}\text{I}$ (半減期 8.02 日)が多く利用される。ヨウ素の化合物には揮発性のものが多い。例えば、ヨウ化カリウム(KI)を含む水溶液をにすると揮発性のが生成する。このため、放射性ヨウ素標識 KI を取扱う作業は、フードやグローブボックス内で行い、を含むマスクを着用する。放射性ヨウ素標識ヨウ化メチルの取扱いの際には、よりもを含むマスクの着用が有効である。

$^{125}\text{I}$ は EC 壊変して、の励起準位から $\gamma$ 線(35.5 keV)を放出する。また、 $\gamma$ 線放射と競合する内部転換により、特性 X 線(27.4 keV 及び 31.1 keV)を放出する。実験テーブルや床面の直接法による表面汚染検査には、低エネルギー光子専用の式サーベイメータの利用が適している。実験テーブルや床面の除染作業は、ペーパータオルなどに、中性洗剤、あるいは還元性のを浸み込ませて拭き取り、その後、再度サーベイメータで測定して汚染のないことを確認する。

<E~Hの解答群>

- |                   |                  |                |
|-------------------|------------------|----------------|
| 1 酸性              | 2 中性             | 3 アルカリ性        |
| 4 $\text{IO}_3^-$ | 5 $\text{I}_3^-$ | 6 $\text{I}^-$ |
| 7 $\text{I}_2$    | 8 無添着活性炭         | 9 有機アミン添着活性炭   |
| 10 シリカゲル添着活性炭     | 11 アルミナ添着活性炭     |                |

<Iの解答群>

- |                     |                     |                     |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 $^{125}\text{Sn}$ | 2 $^{125}\text{Sb}$ | 3 $^{125}\text{Te}$ | 4 $^{125}\text{Xe}$ |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|

<J、Kの解答群>

- |                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| 1 比例計数管              | 2 ZnS(Ag)シンチレーション     |
| 3 薄型 NaI(Tl)シンチレーション | 4 井戸型 NaI(Tl)シンチレーション |
| 5 希塩酸                | 6 過酸化水素水              |
| 7 亜硫酸ナトリウム水溶液        |                       |

IV 実験室からの排水は、一旦、排水設備の貯留槽に溜め置かれる。貯留槽内の排液を排水するには、含まれる放射性同位元素の濃度・化学形、排水中の濃度限度を考慮する必要がある。

貯留槽にトリチウム水  $30 \text{ kBq}\cdot\text{L}^{-1}$  と無機  $^{131}\text{I}$   $120 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  を含む廃液があり、その水量は  $1 \text{ m}^3$  である。これをただちに排水するには、少なくとも  $\boxed{\text{L}}$   $\text{m}^3$  の水で希釈しなければならない。一方、新たな流入がない状態で24日間減衰を待つと、それぞれの濃度と排水中の濃度限度との比の和は  $\boxed{\text{M}}$  となり、24日後に放射能が排水中の濃度限度以下であることを測定により確認した上で排水できる。

ただし、告示別表第2第六欄に定める  $^3\text{H}$ (水)及び  $^{131}\text{I}$ (ヨウ化メチル以外の化合物)の排水中の濃度限度はそれぞれ  $6 \times 10^1 \text{ Bq/cm}^3$ 、及び  $4 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^3$  である。 $^3\text{H}$  及び  $^{131}\text{I}$  の半減期は、それぞれ12年及び8日とする。

<Lの解答群>

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 1.3 | 2 2.5 | 3 3.5 | 4 5.4 | 5 6.4 |
|-------|-------|-------|-------|-------|

<Mの解答群>

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 0.1 | 2 0.3 | 3 0.5 | 4 0.7 | 5 0.9 |
|-------|-------|-------|-------|-------|

問5 次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分に入る最も適切な語句又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 放射線防護の目的を達成するためには、□A□影響のしきい線量、□B□影響の発生頻度および容認できるリスクレベルをよく理解しておくことが重要である。ICRP2007年勧告ではこれらについて推定された数値が報告されている。

□A□影響は、しきい線量のある組織障害反応であり、被ばく線量が大きくなると障害も重篤になる。一般に、骨髄のように常に分裂する幹細胞が存在し細胞交替率が□C□臓器・組織では障害が□D□現れ、肝臓のように細胞交替率が□E□臓器・組織では障害が□F□現れる。組織障害のしきい線量は臓器・組織により異なるが、その値は全身γ線被ばくした成人集団の1%に症状が現れる吸収線量として推定されており、造血機能低下ではおよそ□ア□Gy、一時的脱毛ではおよそ4 Gy、男性の一時的不妊ではおよそ□イ□Gyである。また、骨髄死のしきい線量は、治療しない場合はおよそ□ウ□Gyである。

□B□影響に属するものには、発がん遺伝性(的)影響がある。□B□影響を評価するために、□G□で調整した単位放射線量当たりのリスクの大きさが推定されており、これは□G□で調整された□H□と呼ばれる。がんについてのこの値は全集団で□エ□ $\times 10^{-2}$  Sv<sup>-1</sup>、成人では $4.1 \times 10^{-2}$  Sv<sup>-1</sup>と推定されている。

<A、Bの解答群>

- |       |      |          |       |
|-------|------|----------|-------|
| 1 確率的 | 2 晩発 | 3 遺伝性(的) | 4 確定的 |
| 5 急性  |      |          |       |

<C~Fの解答群>

- |      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| 1 遅く | 2 早く | 3 低い | 4 高い |
|------|------|------|------|

<ア、イの解答群>

- |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 0.1 | 2 0.5 | 3 1.5 | 4 6.5 |
|-------|-------|-------|-------|

<ウの解答群>

- |     |     |     |     |      |
|-----|-----|-----|-----|------|
| 1 1 | 2 3 | 3 5 | 4 8 | 5 10 |
|-----|-----|-----|-----|------|

<Gの解答群>

- |        |      |         |          |
|--------|------|---------|----------|
| 1 線質係数 | 2 損害 | 3 相対生存率 | 4 組織加重係数 |
|--------|------|---------|----------|

<Hの解答群>

- |            |              |           |
|------------|--------------|-----------|
| 1 過剰相対リスク  | 2 過剰絶対リスク    | 3 名目リスク係数 |
| 4 預託実効線量係数 | 5 線量・線量率効果係数 | 6 生物学的効果比 |

<エの解答群>

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 1.1 | 2 2.2 | 3 3.3 | 4 4.4 | 5 5.5 |
|-------|-------|-------|-------|-------|

II 放射線防護に用いる量（防護量）である等価線量と実効線量は、臓器・組織の平均吸収線量と放射線の人体影響リスクを関連づけた線量概念である。被ばくした各臓器・組織の防護量が等価線量である。同一の吸収線量でも、放射線の種類やエネルギーにより人体影響リスクは異なるため、臓器・組織の平均吸収線量に「オ」を乗じることにより等価線量を算出する。高 LET 放射線の「オ」は、「I」における「J」影響に対して導出されており、ICRP2007年勧告におけるその値は、アルファ粒子に対しては「K」、中性子に対しては「L」となっている。

全身の防護量である実効線量を算出するには、等価線量に各臓器・組織の放射線影響の感受性を勘案した「カ」を乗じて合計する。「カ」は全身が均等被ばくした時の全身の障害に対する各臓器・組織の障害の寄与を表し、全臓器・組織について足し合わせると1となるように設定されている。「カ」として、ICRP2007年勧告では、「M」それぞれに対しては0.12、「N」それぞれに対しては0.01が勧告されている。

<オ、カの解答群>

- |           |               |           |
|-----------|---------------|-----------|
| 1 線質係数    | 2 線量・線量率効果係数  | 3 生物学的効果比 |
| 4 放射線加重係数 | 5 質量エネルギー吸収係数 | 6 組織加重係数  |

<Iの解答群>

- |       |       |        |          |
|-------|-------|--------|----------|
| 1 高線量 | 2 低線量 | 3 1 Gy | 4 0.1 Gy |
|-------|-------|--------|----------|

<Jの解答群>

- |          |      |       |      |
|----------|------|-------|------|
| 1 確定的    | 2 急性 | 3 確率的 | 4 晩発 |
| 5 遺伝性（的） |      |       |      |

<K、Lの解答群>

- |              |      |                |
|--------------|------|----------------|
| 1 1          | 2 2  | 3 5            |
| 4 10         | 5 20 | 6 エネルギーのステップ関数 |
| 7 エネルギーの連続関数 |      |                |

<M、Nの解答群>

- |                    |   |
|--------------------|---|
| 1 骨髄（赤色）、結腸、肺、胃、乳房 | 2 膀胱、食道、肝臓、甲状腺                                |
| 3 骨表面、脳、唾液腺、皮膚     | 4 生殖腺、 <sup>すい</sup> 膵臓、 <sup>のう</sup> 胆嚢、前立腺 |

問6 次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分に入る最も適切な語句又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。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 ICRPは2007年勧告で放射線防護にあたって個人の被ばく状況を、□A被ばく状況、□B被ばく状況、□C被ばく状況の3つに分類している。□A被ばく状況とは、“被ばくが生じる前に放射線防護を前もって計画することができる状況、及び被ばくの大きさと範囲を合理的に予測できるような状況”のことで、原子力発電の定常運転、放射性同位元素の産業利用、医療での利用などが含まれる。□B被ばく状況とは、“急を要する防護対策と、おそらく長期的な防護対策の履行が要求されるかもしれない不測の状況”のことで、原子力発電所の大規模な事故やテロなどが含まれる。□C被ばく状況とは、“管理についての決定がなされる時点で既に存在している状況”で、高自然放射線地域での居住や原子力発電所の大規模な事故後の汚染地域に居住することなどがこの状況に含まれる。

なお、ICRPでは、被ばくを、職業被ばく、公衆被ばく、患者の医療被ばくの3つのカテゴリーに分類している。職業被ばくにおいて、防護の対象として一般の作業者と区別すべきものとして、妊娠中又は母乳授乳中の作業者と商用ジェット機及び宇宙飛行の運行中における宇宙線の被ばくをあげている。妊娠している作業者の胚と胎児の被ばくについては□D被ばくと考えて規制されるべきと勧告している。商業用ジェット機の運行中における搭乗員の宇宙線の被ばくは□E被ばくとして取り扱う必要があること、搭乗回数の多い旅客の被ばくは□F被ばくとして取り扱う必要がないことを述べている。

ICRP2007年勧告では、放射線防護のための個人線量のレベルは線量限度、□G、□Hにより制限されるとしている。線量限度は□A被ばく状況における□I被ばく以外に適用され、全ての規制された線源からの被ばくに対して用いられる。□Gは、□A被ばく状況（患者の医療被ばくを除く）におけるある線源からの被ばくに対して用いられ、その線源に対する防護の最適化における予測線量の上限值である。□Hは□B被ばく状況と□C被ばく状況における線量又はリスクのレベルを示しており、これを上回る被ばくの発生を許す計画の策定は不適切であると判断され、このレベルに対して防護対策が計画され最適化されるべきであるとしている。

<A～Cの解答群>

- |      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 1 平時 | 2 緊急時 | 3 計画 | 4 現存 | 5 現実 |
| 6 予想 | 7 予定  |      |      |      |

<D～Fの解答群>

- |      |      |      |
|------|------|------|
| 1 職業 | 2 公衆 | 3 医療 |
|------|------|------|

<G、Hの解答群>

- |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|
| 1 線量上限値 | 2 線量規制値 | 3 線量拘束値 | 4 予防レベル |
| 5 参考レベル | 6 規制レベル |         |         |



< I の解答群 >

- 1 職業                      2 公衆                      3 医療

II 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では ICRP の 1990 年勧告に基づき放射線業務従事者の放射線防護がなされている。放射線業務従事者の被ばくの線量限度は実効線量限度と眼の水晶体及び皮膚の等価線量限度で規定されている。これらの線量は、直接測定することが困難であるため、外部被ばく線量の測定には実用量が用いられる。この実用量は [ J ] によって定められたもので、実効線量として [ ア ] 線量当量、眼の水晶体の等価線量として [ ア ] 線量当量と [ イ ] 線量当量のうち適切な方、皮膚の等価線量として [ ウ ] 線量当量を用いている。

内部被ばくに関しては、放射性物質を吸入摂取または経口摂取した場合にはすみやかに、放射性物質を吸入摂取または経口摂取するおそれのある場所に立ち入る者の場合には [ K ] に、さらに、放射性物質を吸入摂取または経口摂取するおそれのある場所に立ち入る者の場合で、妊娠中の女性の場合には [ L ] に内部被ばくによる線量を算定することとされている。

放射線業務従事者のうち女子について、線量限度が以下のように定められている。妊娠不能と診断された者、妊娠の意思のない旨を使用者等に書面で申し出た者を除く女子に対して、実効線量限度として [ M ] mSv/3 月と定められている。本人の申出等により許可届出使用者又は許可廃棄業者が妊娠の事実を知ったときから出産までの間について、外部被ばくに関しては [ N ] の等価線量限度として [ O ] mSv と定められ、 [ エ ] 線量当量で評価し、内部被ばくに関しては預託実効線量で評価されることになっており [ P ] mSv と定められている。

< J の解答群 >

- 1 WHO                      2 UNSCEAR                      3 IAEA                      4 ICRU                      5 ICRR

< ア～エの解答群 >

- 1 1 マイクロメートル                      2 3 マイクロメートル                      3 10 マイクロメートル  
4 70 マイクロメートル                      5 1 ミリメートル                      6 3 ミリメートル  
7 7 ミリメートル                      8 1 センチメートル                      9 3 センチメートル  
10 10 センチメートル

< K、L の解答群 >

- 1 すみやか                      2 24 時間以内                      3 48 時間以内  
4 1 月を超えない期間ごと                      5 3 月を超えない期間ごと                      6 6 月を超えない期間ごと  
7 1 年を超えない期間ごと

< M の解答群 >

- 1 1                      2 2                      3 3                      4 5                      5 10  
6 20

<Nの解答群>

1 胸部表面      2 腹部表面      3 子宮      4 胎児      5 直腸

<O、Pの解答群>

1 1      2 2      3 3      4 5      5 10  
6 20



