

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、記入欄以外の余白及び裏面には、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、1 つの問いに対して、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 半導体検出器に関する次のⅠ、Ⅱの文章の□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 半導体を用いた放射線検出器は、種々の放射線のエネルギー測定や放射能測定に広く使用されている極めて重要な検出器の一つである。この検出器に使用される半導体物質では、絶縁物に比べて、そのエネルギーバンド構造における□A帯の幅が狭く、代表的な半導体物質のシリコンやゲルマニウムでは約□B eVである。また、電子-□C対の形成に必要な平均エネルギー（ ϵ 値）はゲルマニウムで約□D eVである。この結果、同じ放射線が入射しても気体より電荷キャリアが多く生成されることから、気体検出器に比べてエネルギー分解能に優れた検出器となる。

純度が極めて高い半導体物質に微量の不純物原子を添加して、電荷キャリアに寄与する新たなエネルギー準位を与えることができる。この添加した原子がホウ素、□Eなどの場合、電子の□Fとして働き、p型半導体となる。また、リン、ヒ素などの場合には、電子の□Gとなり、n型半導体となる。このn型とp型の半導体を用いて□H構造を形成し、□I方向に電圧を印加すると、電荷キャリアが存在しない□Jが生じ、この部分に放射線が入射すると電荷が生成し電離電流を取り出すことができる。

<A～Dの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|-------|-------|
| 1 価電子 | 2 許容 | 3 禁止 | 4 正孔 |
| 5 陽電子 | 6 イオン | 7 励起子 | 8 原子核 |
| 9 0.05 | 10 0.1 | 11 1 | 12 2 |
| 13 3 | 14 6 | 15 30 | |

<E～Jの解答群>

- | | | | |
|---------|----------|--------|----------|
| 1 炭素 | 2 アルミニウム | 3 ケイ素 | 4 タリウム |
| 5 アクセプタ | 6 アクチベータ | 7 ドナー | 8 クエンチャー |
| 9 ダイオード | 10 キャパシタ | 11 空乏層 | 12 不感層 |
| 13 双 | 14 逆 | 15 順 | |

II γ 線スペクトロメトリに用いられる半導体検出器は、半導体物質の原子番号や密度が高いことに加え、その有感領域が十分に大きいことが必要である。このため、**K**型のゲルマニウムにリチウムを拡散させ有感領域を大きくした検出器や、**L**のゲルマニウムを用いた検出器が使用されてきた。しかし、前者は、リチウムが常温において拡散するため**M**温度に常時冷却する必要があり、維持管理の観点から近年はほとんど使用されなくなっている。いずれのGe検出器においても、 γ 線により生じる電荷の検出に際して**N**が大きく影響するため、測定時には**M**温度に冷却する必要がある。

Ge検出器のエネルギー分解能は、一般的に全吸収ピークの**O**で与えられる。一方、全吸収ピークの形状をガウス分布とすると、このピークの**O**は、**P**の $2\sqrt{2\ln 2}$ 倍で与えられる。このため、エネルギー E [eV]の γ 線に対するエネルギー分解能 [eV]は、電荷キャリア数の統計的変動のみに起因すると仮定すると、ゲルマニウムの ϵ 値を ϵ [eV]、ファノ因子を F として、 $2\sqrt{2\ln 2} \times \text{Q}$ と表すことができる。

Ge検出器の検出効率は、使用されるゲルマニウム結晶の大きさや測定対象 γ 線のエネルギーにより変化する。このため、Ge検出器の検出性能を比較する指標としては、 ^{60}Co の1.333 MeV γ 線に対して、直径及び高さがそれぞれ**R**インチの**S**シンチレータを用いたシンチレーション検出器の検出効率と比較した相対値で示するのが一般的である。

<K~Pの解答群>

- | | | | |
|--------------|---------|-----------|-----------|
| 1 最大値 | 2 中央値 | 3 極大値 | 4 標準偏差 |
| 5 半値幅 (FWHM) | 6 高純度 | 7 多結晶 | 8 酸化物 |
| 9 n | 10 p | 11 熱雑音 | 12 電磁誘導雑音 |
| 13 液体ヘリウム | 14 液体窒素 | 15 ドライアイス | |

<Q~Sの解答群>

- | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| 1 $\sqrt{F \cdot \epsilon \cdot E}$ | 2 $\sqrt{\frac{\epsilon \cdot E}{F}}$ | 3 $\sqrt{\frac{F \cdot E}{\epsilon}}$ | 4 $F\sqrt{\epsilon \cdot E}$ |
| 5 ZnS(Ag) | 6 CsI(Tl) | 7 NaI(Tl) | 8 BGO |
| 9 1 | 10 2 | 11 3 | 12 4 |

問2 次のⅠ～Ⅳ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。

放射線防護計測に際して、サーベイメータがしばしば用いられる。サーベイメータは、放射性同位元素又は放射線に関する情報を簡便に得ることを目的とした、小型で可搬型の放射線測定器のことを総括的に言う。サーベイメータの使用や購入にあたっては、その測定対象放射線や目的などを良く理解した上で、それに則した機能や性能を持つものを選択することが重要である。

Ⅰ この種の測定器の使用目的は、二つに大別される。第一は、周辺における線量率の測定を目的とするもので、多くの場合、□A□率 ($\mu\text{Sv/h}$) で目盛がつけられているが、□B□率 ($\mu\text{Gy/h}$) で目盛られたものもある。また、スイッチ切換えによりこれらの積算値を知ることができるようにしたものもある。第二は、放射性同位元素による表面汚染の測定を意識したもので、この場合、目盛は□C□率 (cps、cpm 又は min^{-1}) とした場合が多く、窓面を測定対象に 5 mm 程度近づけた状態で測定を行い、この測定値から、検出器の□D□、機器効率、線源効率を用いて、使用者が□E□を算出する。また、検出器の窓に着脱可能なキャップをつけ、双方の目的を兼ね備えた形式のものもある。なお、中性子の測定については、専用のサーベイメータが必要である。

<A～Eの解答群>

- | | | | |
|--------|-----------|-------------|-------------------------|
| 1 照射線量 | 2 空気吸収線量 | 3 1 cm 線量当量 | 4 70 μm 線量当量 |
| 5 実効線量 | 6 放射能表面密度 | 7 フルエンス | 8 計数 |
| 9 窓面積 | 10 窓の厚さ | | |

II サーベイメータは、使われる検出器の種類により分類されることが多い。電離箱式、GM管式、シンチレーション式が主なものであるが、そのほか、検出器として、比例計数管、Si半導体検出器なども用いられることがある。

電離箱式サーベイメータは、 γ 線などの光子が主に電離箱の **F** でコンプトン効果などの相互作用を起こし、その結果生じた高速電子の一部が電離箱の **G** を電離させ、その際の電流を読み出すもので、主に周辺の場の線量（率）の測定に用いられる。感度はそれほど良くないものの、**H** 特性が優れている。また、線量率依存性が少なく、加速器からの放射線のように極短時間に放射線がバースト状に到来する場合にも対応できる。

電離箱は壁材における吸収線量率の測定に基づいているが、壁材がプラスチック（内面に薄い炭素膜を塗布）のような低原子番号物質で作られている電離箱は、ほぼ **I** 率を与える。この値から **J** 率を直読できる様にするには、この値に光子エネルギーの関数として与えられている換算係数を乗じて、**J** 率に換算した目盛とする必要がある。ICRPによる換算係数は、**K** から **J** への換算係数を光子エネルギーの関数として与えたものであるが、入射光子のエネルギーが 1.5 MeV 程度以下の場合には、**K** と **I** との差は少ないから、**K** を **I** に読み替えても、実用上は差し支えない。しかしながら、この換算係数は光子エネルギーに依存するので、光子エネルギーによらず **J** 率を直読できる様にするには、測定器の **I** 率に対するレスポンスを換算係数曲線の形に **L** 必要がある。この目的のために電離箱壁の材料や中心電極の材料を吟味することにより、**J** 率に関する **H** 特性を改善することができる。

<F～Lの解答群>

- | | | |
|-------------------------|--------------|----------------|
| 1 照射線量 | 2 空気吸収線量 | 3 1 cm 線量当量 |
| 4 70 μm 線量当量 | 5 エネルギーフルエンス | 6 空気カーマ |
| 7 実効線量 | 8 充填気体 | 9 壁 |
| 10 中心電極 | 11 エネルギー | 12 感度 |
| 13 線量率 | 14 適合させる | 15 逆比例の関係を持たせる |

Ⅲ GM管式サーベイメータで光子を測定する場合、主に計数管の における光子の相互作用の結果生じる高速電子による放電パルス測定している。この放電パルスは波高がほぼ一定で、エネルギー情報を持たないため、放射線の入射に関する個数情報しか得られない。レスポンスは主に計数管の における光子との相互作用確率と発生した電子の飛程によって決定される。 率測定を目的とする場合、その 特性は、電離箱式サーベイメータの場合と比較するとかなり悪い。通常、校正は ^{137}Cs 線源からの 662 keV γ 線によって行われるが、これ以外のエネルギー、とくに低エネルギー光子の測定や散乱光子を多く含む場の測定に関しては誤差が大きくなるので、注意が必要である。また、検出器の によって指示値も変化する。すなわち、 特性はあまり良くない。さらに、分解時間が長いために、 特性も悪い。このように、X・ γ 線用線量率測定器としてGM管式サーベイメータは性能に限界があるが、端窓型GM管を用いた場合、パルス数は入射窓から入射した β 線の個数を反映するため、表面汚染の測定には都合が良い。

シンチレーション式サーベイメータは、シンチレータとしてNaI(Tl)やCsI(Tl)が使われるのが一般的であるが、これらは密度が高く、シンチレータ全体が光子の有感領域となっているので、感度は良い。シンチレーション計数管の場合も、パルスの計数率の測定が基本であるので、そのまま計数率を測定する方式では、 特性は著しく悪い。しかしながら、 は入射光子のエネルギー情報を有するので、これを利用して 特性を補償することは可能であり、最近はこうした技術を取り入れた製品が多くなった。

<M～Rの解答群>

- | | | | |
|-------------|-------------------------|-----------|---------|
| 1 1 cm 線量当量 | 2 70 μm 線量当量 | 3 実効線量 | 4 計数率 |
| 5 パルス幅 | 6 パルス波高 | 7 発光スペクトル | 8 エネルギー |
| 9 方向 | 10 管壁 | 11 中心電極 | 12 充填気体 |

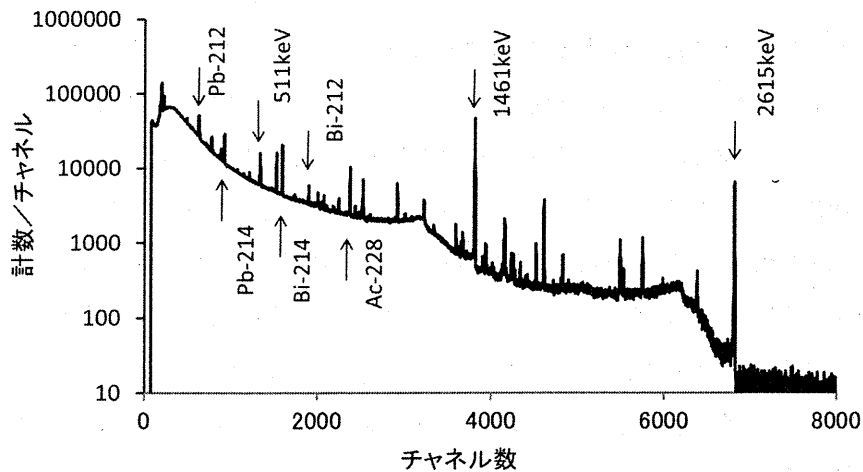
Ⅳ α 線源、 β 線源の探査や表面汚染の測定を目的とするサーベイメータは、入射窓の面積が広く、かつ入射窓の窓厚が薄いことが望まれる。この目的のために、端窓型GM計数管を用いたサーベイメータが主に用いられるが、プラスチックシンチレーション式サーベイメータも用いられる。また、 α 線専用の測定にはシンチレーション式サーベイメータがある。また、トリチウム測定の場合のように極端にエネルギーの低い β 線の測定には、薄窓型のを用いたサーベイメータも開発されている。

<S、Tの解答群>

- | | | |
|------------|-------------|-------------|
| 1 Si半導体検出器 | 2 薄いNaI(Tl) | 3 CsI(Tl) |
| 4 ZnS(Ag) | 5 BGO | 6 ガスフロー式計数管 |
| 7 パルス電離箱 | 8 空気比例計数管 | |

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 鉄筋コンクリート建物の室内において、遮蔽体のないGe検出器で長時間測定したときのγ線スペクトルの例を図に示す。スペクトルはいくつかのピークと、ピーク以外の連続部分からなる。ピーク部分で顕著なものは、壊変系列をつくらない□アの1,461 keVと、²³²Thの□Aである□イの2,615 keVの□Bピークである。その他にウラン系列の²¹⁴Pb、²¹⁴Biとトリウム系列の²²⁸Ac、²¹²Pb、²¹²Biなどのピークが見られる。連続部分は、これら核種のγ線に由来するコンプトン連続部分と二次宇宙線による。これらのバックグラウンドを低減するために、通常、Ge検出器は、鉛遮蔽体の中に置く。遮蔽体の鉛には、²¹⁰Pb（半減期22年）が含まれていることがある。この場合、その娘核種である□Cのβ線がバックグラウンドに影響を与えることがある。また、試料からのγ線により生じる鉛の□Dや後方散乱γ線を吸収するために、鉛の内側に□E板とさらにその内側に□F板を、又は□F板だけを内張りする。さらに内側には、試料からのβ線による□Gの発生を抑えるために、アクリルなどの合成樹脂の板を加える。また、検出器にβ線が直接入射するのを防ぐために、検出器も同じ材質のキャップで覆う。



<ア、イの解答群>

- | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 1 ${}^7\text{Be}$ | 2 ${}^{10}\text{Be}$ | 3 ${}^{36}\text{Cl}$ | 4 ${}^{40}\text{K}$ | 5 ${}^{87}\text{Rb}$ |
| 6 ${}^{206}\text{Tl}$ | 7 ${}^{208}\text{Tl}$ | 8 ${}^{208}\text{Pb}$ | 9 ${}^{208}\text{Bi}$ | |

<A、Bの解答群>

- | | | | |
|--------|---------|-----------|---------|
| 1 消滅核種 | 2 子孫核種 | 3 安定核種 | 4 全吸収 |
| 5 サム | 6 エスケープ | 7 コインシデンス | 8 コンプトン |

<Cの解答群>

- | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 ${}^{207}\text{Tl}$ | 2 ${}^{210}\text{Tl}$ | 3 ${}^{210}\text{Bi}$ | 4 ${}^{210}\text{Po}$ | 5 ${}^{215}\text{Bi}$ |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|

<D～Gの解答群>

- | | | | |
|-----------|----------|----------|----------|
| 1 レイリー散乱線 | 2 消滅放射線 | 3 特性 X 線 | 4 制動放射線 |
| 5 内部転換電子 | 6 中性子線 | 7 ベリリウム | 8 アルミニウム |
| 9 銅 | 10 カドミウム | | |

II 非密封放射性同位元素の使用施設には、排気設備が設置されている。実験室内の空気中の放射性同位元素の付着したダストや、フード内で飛散した放射性同位元素を含む粒子状の物質はプレフィルタと フィルタにより捕集する。後者は微粒子を捕集するための規定された性能をもつフィルタである。放射性ヨウ素を扱う施設では、 フィルタも装備する。ヨウ素を用いる実験は、 フィルタを備えたグローブボックス内で行うことが有効である。

一方、施設内でアイソトープの取扱いがなくても、空気中のダストを吸引してろ紙に捕集し、そのろ紙を Ge 検出器で測定するとラドン由来の核種が観測される。ラドンは放射性で、ウラン系列に属する半減期 日の 、トリウム系列に属する半減期 秒の がある。室内のラドン放射能を γ 線測定で評価するには、 の子孫核種である ${}^{214}\text{Pb}$ (352 keV; I の図) などの γ 線、 の子孫核種である ${}^{212}\text{Pb}$ (239 keV; I の図) などの γ 線を利用する。

<H、Iの解答群>

- | | | | |
|--------|------------|---------|-------|
| 1 アルミナ | 2 メンブラン | 3 シリカゲル | 4 活性炭 |
| 5 HEPA | 6 グラスファイバー | | |

<ウ、エの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|--------|--------|
| 1 1.8 | 2 2.4 | 3 3.8 | 4 14.6 | 5 55.6 |
|-------|-------|-------|--------|--------|

<J、Kの解答群>

- | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 ${}^{210}\text{Rn}$ | 2 ${}^{211}\text{Rn}$ | 3 ${}^{220}\text{Rn}$ | 4 ${}^{222}\text{Rn}$ | 5 ${}^{224}\text{Rn}$ |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|

Ⅲ 10 MBq の ^{60}Co (塩化物) が水溶液としてガラスバイアルに入っている。実験者は遮蔽を行わず線源から 50 cm の距離で実験をした。点線源とみなし、バイアルの遮蔽効果は無視すると、1 cm 線量当量率は、 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ となる。線源と実験者の距離を変えずに、線量率を 1/10 にするために線源の入ったガラスバイアルを鉛で遮蔽するには、その厚さはおよそ cm が必要である。ただし、 ^{60}Co の 1 cm 線量当量率定数は $0.35 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 、 ^{60}Co の γ 線に対する鉛の半価層は 1.5 cm とし、ビルドアップ効果は考慮しない。

実験終了後、実験室の汚染検査と除染方法を、汚染核種、場所、及び汚染の形態などに応じて適切に選択する。まず、ガラスバイアルの外側に汚染のないことを 法などの間接法で確認した後、線源を貯蔵庫に収納する。次に、実験テーブルや床面全体の表面汚染を GM 管式サーベイメータによる 法で測定する。表面汚染が認められる場合には、汚染箇所を印をつけて明示し、汚染の拡大を防ぐ。速やかに対処することで除染効果は大きくなる。中性洗剤、酸、あるいは を含ませたペーパータオルなどによるふき取り作業を行い、その後、再度、サーベイメータで測定して除染されたことを確認する。

<Lの解答群>

1 7 2 14 3 18 4 24 5 30

<Mの解答群>

1 0.5 2 1.0 3 2.5 4 5.0 5 8.7

<N、Oの解答群>

1 直接 2 スミア 3 絶対 4 接触

<Pの解答群>

1 シリコングリース 2 クロロホルム 3 ヘキサン
4 EDTA ナトリウム塩水溶液

問4 次の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 非密封放射性同位元素の使用施設では、放射性同位元素、使用者の被ばく状況及び使用施設の管理を適正に行う必要がある。

放射性同位元素については、その数量だけではなく、化学形や純度にも注目する必要がある。例えば、有機標識化合物は、購入後、長期間経過すると、核種純度は変わらなくても□Aで化学的な不純物を含むことがある。この不純物が揮発性の場合には、室内空気の汚染の可能性を増大させることになる。

通常の有機化合物では化学的純度は融点や沸点を測定することで求められる。しかし、微量の標識化合物では、融点や沸点の測定が困難なため、□Bが一定になるまで精製を繰り返す方法がとられる。放射化学的純度は、□Cにより、比放射能測定から放射性化合物を定量することで求めることも可能である。なお、化学形とは関係がなく、着目する放射性核種の放射能が、その物質の全放射能に占める割合を□Dという。

有機標識化合物については、保管方法に注意することで、不純物の生成を抑制することができる。放射線化学反応の初期過程で生成するラジカルを捕えて反応に関与しないようにするためのスカベンジャーの添加が有効である。水溶液については□Eなどが用いられる。低温で保管するのは化学純度を維持する上で有効であり、トリチウム化合物の水溶液では約□F℃で保管する。

<A、Bの解答群>

- | | | |
|--------|-----------|--------------|
| 1 核反応 | 2 自己放射線分解 | 3 ホットアトムとの反応 |
| 4 比放射能 | 5 昇華点 | 6 重量 |

<C、Dの解答群>

- | | | |
|---------|------------|-----------|
| 1 放射滴定法 | 2 同位体希釈分析法 | 3 質量分析法 |
| 4 同位体純度 | 5 同位体存在度 | 6 放射性核種純度 |

<E、Fの解答群>

- | | | | |
|--------|---------|------|--------|
| 1 ベンゼン | 2 エタノール | 3 重水 | 4 -196 |
| 5 -80 | 6 2 | | |

II 非密封放射性同位元素の使用者の被ばく線量を低減することは放射線管理の要諦の一つである。

外部被ばく線量の低減には、作業時間の短縮、距離の確保とともに、適切な遮蔽体の利用が有効である。例えば、**G**の放射線を遮蔽するには、飛程より少し厚い 1 cm 厚の透明アクリルがよく用いられる。さらに、高強度線源などで二次光子の遮蔽も必要な場合には、アクリルの外側を**H**で覆う。放射線と物質との相互作用を考慮して、適切な遮蔽材を用いる。

内部被ばくの防止には、放射性同位元素の物質としての化学的性質の把握は重要である。例えば、元素の酸化状態は化学的性質を特徴づける要因の一つである。取り扱っている放射性同位元素の酸化状態に注意することで、実験系でのふるまいを適切に予測することができる。遷移金属元素などは多様な酸化還元状態をとる場合があるので、実験系での酸化状態の変化の可能性には注意する。例えば、放射性クロムについてみると、水溶液中で、クロム(III)は陽イオンとして存在するが、**I**はクロム酸イオン (CrO_4^{2-}) などの陰イオンとなり、化学的挙動は全く異なる。モリブデンはクロムの同族元素で、 ^{99}Mo は β^- 壊変により放射性テクネチウム $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を生じる。**J**族元素の放射性テクネチウムでは、**K**は水溶液中では酸素原子と結合して安定な陰イオン ($^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$) となるが、水溶液の酸化還元雰囲気が**L**な場合に生成するテクネチウム(IV)は加水分解しやすく、化学的挙動は異なる。

放射性的揮発性物質は内部被ばくの可能性が高くなるため、体内への取込みについて格別の注意が必要である。**M**は揮発性の指標であり、これが高い物質については揮発性に特に注意する必要がある。

<G~Jの解答群>

- | | | |
|----------------|-------------------|-------------------|
| 1 ^3H | 2 ^{14}C | 3 ^{32}P |
| 4 黒い紙 | 5 不透明なプラスチック | 6 鉛 |
| 7 クロム(0) | 8 クロム(IV) | 9 クロム(VI) |
| 10 クロム(VII) | 11 1 | 12 2 |
| 13 7 | 14 18 | |

<K~Mの解答群>

- | | | | |
|-------------|--------------|---------------|---------|
| 1 テクネチウム(V) | 2 テクネチウム(VI) | 3 テクネチウム(VII) | 4 還元的 |
| 5 ほぼ中間的 | 6 酸化的 | 7 沸点 | 8 キュリー点 |
| 9 蒸気圧 | 10 昇華点 | | |

Ⅲ 場所の管理では、空間線量率、空气中濃度及び汚染密度の測定が重要である。電離箱や GM 測定器が用いられるが、これらは放射線による に基づく計測法である。放射線による発光を計測に利用する NaI(Tl)シンチレーション測定器や液体シンチレーション測定装置も用いられる。この他、放射線による固体の電離を利用した検出器である や放射線により誘発される化学反応を利用した化学線量計なども利用される。対象とする放射性同位元素からの放射線の線質、強度、測定目的に応じて、測定手法を選択する。

管理区域からの排気や排水も重要な管理対象である。複数の核種が使用されている場合には、各核種についての放射能濃度を求めて排気、排水の方法を立案する。例えば、貯留槽中の ^3H と ^{32}P を含む廃水 1 m^3 の排水計画を立案する。告示別表第 2 第 6 欄に定める ^3H (化学形が水の場合) の濃度限度は $6 \times 10^1\text{ Bq/cm}^3$ 、 ^{32}P (化学形が Sn のリン酸塩以外の場合) の濃度限度は $3 \times 10^{-1}\text{ Bq/cm}^3$ である。まず、化学形を考慮して適用される値を確認する。 ^3H 及び ^{32}P の化学形がそれぞれ水及びリン酸ナトリウムであるとする。例えば、 ^3H と ^{32}P の放射能濃度がそれぞれ $30,000\text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $450\text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ の廃水 1 m^3 を直ちに排水するには、少なくとも m^3 の水で希釈する必要がある。同様のケースで、 ^3H の放射能濃度が $60,000\text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ で ^{32}P の放射能濃度が $540\text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ の場合、 1 m^3 の水で希釈して排水するには、少なくともおおよそ 待つ必要がある。このように、排気中や排水中の放射能濃度や化学形は排気、排水のプランニングにも深く関係している。

<N~Qの解答群>

- | | | | |
|----------|-----------|---------|--------------|
| 1 気体の電離 | 2 溶液の電離 | 3 固体の電離 | 4 ZnS(Ag)検出器 |
| 5 Ge 検出器 | 6 固体飛跡検出器 | 7 0.25 | 8 0.50 |
| 9 0.75 | 10 1.00 | 11 1.25 | 12 2日間 |
| 13 1週間 | 14 2週間 | 15 1月間 | |

IV 日常の放射線管理に加えて、火災などの緊急時に備えた予防措置を講じる必要がある。緊急措置にあつては、安全の保持、、汚染拡大の防止の三原則に従う。人命救助がすべてに優先する。火災の場合には、遮蔽によく用いられる鉛の融点が℃であることから、溶けて遮蔽の有効性が失われ、周辺の汚染や放射線被ばく量の増加を招く可能性がある。

万一、汚染した空気を吸入したおそれのある場合には、内部被ばく線量を算定する必要がある。対象とする放射性同位元素がすべて飛散して、ある体積の空間に均一に拡散したとして、その濃度を算出するのの一つの方法である。これにをかけて吸入したおそれのある放射性同位元素の総量として、内部被ばく線量を推定することができる。

<R～Tの解答群>

- | | | |
|----------|---------|-------------|
| 1 損壊の防止 | 2 原因の調査 | 3 通報 |
| 4 92 | 5 328 | 6 836 |
| 7 空気の吸入量 | 8 換気量 | 9 吸入した人数の逆数 |

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 放射線を取り扱う施設においては、放射線業務従事者と一般公衆の放射線防護を目的とし、放射線モニタリングを行う。放射線モニタリングは、放射性同位元素を取り扱う施設内の□A□モニタリングと放射線業務従事者自身の被ばく管理を行う個人モニタリング、そして一般公衆の防護のための□B□モニタリングの3つに大別される。

公共の安全を確保することを目的に制定された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、管理区域の設定基準として、□C□の線量、放射性同位元素の□D□、物の表面の放射性同位元素の密度等について規定している。

<A、Bの解答群>

- 1 作業環境 2 施設周辺環境 3 緊急時 4 ダスト
5 特殊

<C、Dの解答群>

- 1 外部放射線 2 自然放射線 3 宇宙放射線 4 空気中濃度
5 排水中濃度

Ⅱ 個人モニタリングでは、放射線障害を防止するとともに放射線防護の最適化を目的とし、放射線業務従事者の外部被ばく、内部被ばく、表面汚染について測定・評価が行われる。

外部被ばくのモニタリングには、主に個人被ばく線量計やサーベイメータなどの放射線測定装置が用いられる。個人被ばく線量計には様々なものがある。□E□、□F□、□G□はいずれも、線量を求める際に発光量を測定するが、□E□では紫外線照射、□F□では可視光照射、□G□では加熱処理を施す。□H□は半導体検出器を使用した線量計で、被ばく線量が直読可能であることなどから利用が広がっている。

管理区域に立ち入る放射線業務従事者は、入域中の外部被ばく線量測定のために個人被ばく線量計を着用□I□。放射線業務従事者の場合、装着した線量計により定期的に線量を評価し、実効線量限度及び等価線量限度に照らした個人管理がなされるが、この場合、自然放射線による外部被ばくの寄与は□J□評価する。

高放射能の放射性標識化合物を直接取り扱う作業では、放射性標識化合物と作業者の間に遮蔽衝立を置くことにより体幹部への外部被ばくを低減できるものの、手指は体幹部よりも多く被ばくする可能性がある。このような場合、リングバッジを用いることで手指の被ばく線量を評価できる。リングバッジで測定される線量は□K□の□L□であり、□M□という実用量として評価される。そして、□K□の□L□限度である年間□N□mSvを超えないように被ばく管理を行う。

内部被ばくモニタリングには、体外計測法やバイオアッセイ法などがある。体外計測法ではホー

ルポディカウンタがよく利用される。ホールポディカウンタは、ヒトの体内に沈着した放射性物質から放出される を体外で計測する装置で、 の検出には、検出感度の高い 検出器や 検出器、又はエネルギー分解能の高い 検出器が用いられる。 検出器は、汚染核種が想定されるなど核種同定の必要がない内部被ばくモニタリングに用いられる。核種分析が必要な内部被ばくモニタリングでは 検出器又は 検出器が用いられる。

ホールポディカウンタでは、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co などの放射化生成核種や ^{131}I 、 ^{137}Cs などの核分裂生成核種を主な測定対象とするので、その測定エネルギー範囲は概ね である。ホールポディカウンタの維持管理においては測定エネルギー範囲に応じた適切な核種を複数種類用いて校正が行われる。

なお、管理区域を退出する際には、 で表面汚染の有無を確認する。

<E～Hの解答群>

- | | | |
|------------|-----------|--------------|
| 1 蛍光ガラス線量計 | 2 OSL 線量計 | 3 熱ルミネセンス線量計 |
| 4 電子式線量計 | 5 固体飛跡検出器 | 6 フィルムバッジ |

<Iの解答群>

- | | |
|-------------|-----------|
| 1 しなければならない | 2 しなくてもよい |
|-------------|-----------|

<Jの解答群>

- | | |
|-------|---------|
| 1 含めて | 2 含めないで |
|-------|---------|

<Kの解答群>

- | | | | | |
|------|------|---------|--------|-----|
| 1 骨髄 | 2 皮膚 | 3 眼の水晶体 | 4 腹部表面 | 5 肺 |
|------|------|---------|--------|-----|

<L、Mの解答群>

- | | | |
|----------------|------------------|--------|
| 1 吸収線量 | 2 実効線量 | 3 等価線量 |
| 4 1センチメートル線量当量 | 5 70マイクロメートル線量当量 | |

<Nの解答群>

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1 20 | 2 100 | 3 150 | 4 500 |
|------|-------|-------|-------|

<Oの解答群>

- | | | |
|--------------|-------------|--------------|
| 1 α 線 | 2 β 線 | 3 γ 線 |
|--------------|-------------|--------------|

<P～Rの解答群>

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1 NaI(Tl)シンチレーション | 2 ZnS(Ag)シンチレーション |
| 3 Ge 半導体 | 4 プラスチックシンチレーション |
| 5 光ルミネセンス | |

<Sの解答群>

- | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 2 keV～100 keV | 2 100 keV～2 MeV | 3 2 MeV～100 MeV |
|-----------------|-----------------|-----------------|

<Tの解答群>

- | | |
|--------------|----------------|
| 1 イメージングプレート | 2 ダストモニタ |
| 3 肺モニタ | 4 ハンドフットクロスモニタ |

問6 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 放射性物質が体内に取り込まれる経路には、吸入、経口、経皮の三つがある。吸入摂取は、気体状や粒子状の放射性物質を呼吸によって吸い込むことによる。経口摂取は、主に放射性核種を含む飲食物を摂取することにより体内に取り込むことによる。健康な皮膚にはバリア能があるため、皮膚からの体内への取り込みにおいて実際上で最も注意すべきは、□A□からの取込みである。内部被ばくの場合、透過力が低いα線やβ線のみを放出する放射性物質にも注意する必要がある。

放射性物質の放射能は、それぞれの核種で物理的に決まっている物理的半減期 (T_1) で減少していく。内部被ばくを考える場合は、体内に取り込まれた放射性物質の物理的半減期だけではなく、その物質が体内にどの程度の時間とどまっているかも重要な因子となる。体内に取り込まれた放射性物質は排泄などで体外へ排出されるが、体内の物質量が半分になるまでの時間を生物学的半減期 (T_2) という。そして、取り込まれた放射性物質による内部被ばくの評価には、物理的半減期と生物学的半減期から式□B□を用いて計算される有効半減期 (T) を用いる。

例えば、 ^{137}Cs の場合、物理的半減期は約□C□であるが生物学的半減期は約100日であるので、有効半減期は約□D□となる。このように、物理的半減期が長い核種による内部被ばくでは、有効半減期への生物学的半減期の影響が□E□。

<Aの解答群>

- 1 毛嚢^{のう} 2 汗腺 3 創傷 4 皮脂腺 5 爪

<Bの解答群>

- 1 $T = T_1 + T_2$ 2 $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$ 3 $T = \sqrt{T_1 \cdot T_2}$ 4 $T = \sqrt{T_1^2 + T_2^2}$
 5 $T = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2}$

<C、Dの解答群>

- 1 8日 2 14日 3 30日 4 100日 5 5年
 6 12年 7 30年 8 5,700年

<Eの解答群>

- 1 ない 2 小さい 3 大きい

II 被ばくによる確率的影響のリスクを考える上では、まず正しい被ばく線量を知る必要がある。放射線管理の立場からは、放射線の線質や被ばくする部位にかかわらず、統一的な尺度で被ばく線量を議論できると便利である。

放射線の被ばくを考える場合の物理的な線量として単位質量あたりに吸収されたエネルギーを表す \boxed{F} (D) がある。同じ \boxed{F} でも、放射線の線質によって人体に与える生物影響は異なる。そこで、それを補正した \boxed{G} (H) が次のように定義されている。

$$H = w_R \cdot D$$

ここで、 w_R は \boxed{H} と呼ばれるもので、放射線 R の線質によって値が異なる。ICRP2007 年勧告では、 α 線の \boxed{H} は $\boxed{ア}$ である。一般に、何種類かの放射線に被ばくする場合に、ある臓器・組織 T における放射線の線質による違いを補正した線量 H_T は次式で表される。

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

ここで、 $D_{T,R}$ は臓器・組織 T における放射線 R による \boxed{F} である。

放射線による発がんのような確率的影響を評価する場合、同じ \boxed{G} の被ばくでも、被ばくする臓器・組織の違いによって確率的影響は異なる。そこで、このような臓器・組織ごとの確率的影響を考慮した個人の確率的影響を評価するための線量として、 \boxed{I} (E) が次のように定義されている。

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

ここで、 w_T は \boxed{J} と呼ばれるもので、臓器・組織ごとに定められている。 w_T のすべての臓器・組織にわたる総和は $\boxed{イ}$ になる。

<F～Jの解答群>

- | | | | |
|-----------|-----------|-----------|---------|
| 1 照射線量 | 2 実効線量 | 3 吸収線量 | 4 等価線量 |
| 5 預託実効線量 | 6 預託等価線量 | 7 質量吸収係数 | 8 線吸収係数 |
| 9 放射線加重係数 | 10 組織加重係数 | 11 実効線量係数 | |

<ア、イの解答群>

- | | | | |
|------|-------|-----|------|
| 1 1 | 2 2 | 3 5 | 4 10 |
| 5 20 | 6 100 | | |

Ⅲ 内部被ばくの線量評価は次のように行われる。体内に取り込まれた放射性物質の放射能は、有効半減期によって減少していく。取り込まれた放射性物質の代謝や排泄の速度は決まっていると考えると、放射性物質を取り込んだ時点で、その後の被ばく線量（摂取後の線量率の時間積分値）は決まってしまうと考えられる。ある核種について、摂取時刻を 0 とした時刻 t における、ある臓器・組織 T における線質の違いを補正した線量率を $h(t)$ とすると、ある臓器・組織 T がある期間 τ に被ばくする線質の違いを補正した $\boxed{\text{K}}$ ($H_T(\tau)$) は次式で表される。

$$H_T(\tau) = \int_0^{\tau} h(t) dt$$

τ は、成人では $\boxed{\text{ウ}}$ 年であるが、子供では摂取時から $\boxed{\text{エ}}$ 歳までの年数である。この積分した線量を、摂取時に一度に被ばくしたと考えるのが $\boxed{\text{K}}$ である。 $H_T(\tau)$ の単位は $\boxed{\text{オ}}$ である。上記 $H_T(\tau)$ に、臓器・組織ごとに定められている定数 w_T を乗じて、すべての組織について総和を求めたものが、 $\boxed{\text{L}}$ であり、内部被ばくの確率的影響のリスク評価に用いられる。

内部被ばくの評価のためには、摂取した放射性核種の放射能[Bq]を測定あるいは計算によって求め、それに $\boxed{\text{M}}$ を乗ずることにより $\boxed{\text{L}}$ を求めることが行われる。放射性核種に汚染された飲食物の摂取による内部被ばくの評価においても、摂取された放射性核種の放射能を知る必要がある。例えば、 ^{137}Cs で汚染された放射能濃度が $50 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ の肉を、成人が 1 日 100 g ずつ毎日食べ続けたことを想定しよう。このときの経口摂取量は 1 日当たり 5 Bq であり、 $\boxed{\text{M}}$ である $1.3 \times 10^{-5} \text{ mSv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ の値を用いると、この放射能濃度の肉 100 g を 1 年間毎日食べ続けたときの $\boxed{\text{L}}$ は $\boxed{\text{カ}}$ mSv になる。

<K~Mの解答群>

- | | | | |
|----------|---------|-----------|----------|
| 1 照射線量 | 2 吸収線量 | 3 預託実効線量 | 4 預託等価線量 |
| 5 質量吸収係数 | 6 線吸収係数 | 7 放射線加重係数 | 8 組織加重係数 |
| 9 実効線量係数 | | | |

<ウ~カの解答群>

- | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 10 | 2 30 | 3 50 | 4 70 |
| 5 80 | 6 90 | 7 Bq | 8 Sv |
| 9 Gy | 1 0 1.3×10^{-4} | 1 1 6.5×10^{-4} | 1 2 6.5×10^{-3} |
| 1 3 2.4×10^{-2} | 1 4 4.7×10^{-2} | 1 5 2.4×10^{-1} | |

