

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、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 γ 線スペクトロメトリに関する次のI、IIの文章の□に入る最も適切な語句、記号又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

I γ 線スペクトロメトリにおいては、スペクトロメータの γ 線検出部の物質と γ 線がどのような相互作用をするかによって、いろいろなパルス波高スペクトルが得られる。 γ 線が検出部に入射すると、電子、陽電子、コンプトン散乱 γ 線、あるいは□Aに伴う光子などが放出される。 γ 線の全エネルギーが検出部に付与されると、パルス波高スペクトル上に□Bピークとして計数される。生成された高エネルギーの荷電粒子や、その□Cで生じた光子が検出部外に逃れた場合には、コンプトン効果の場合に限らず、□Bピークから低いエネルギー側にずれて計数されることがある。

光電効果が起きると原子の□Dに空席が生じるが、この空席が電子で埋められる際に□E又は□Fが放出される。これらのうち、前者は直接電離により検出部にエネルギーを付与する。一方、後者は前者に比べて検出部の外に逃れやすいため、スペクトル上に□Gピークが生じる場合がある。この現象は、検出部の物質の□Hが高く、検出部の厚みが薄い場合に生じやすい。

コンプトン効果では、パルス波高スペクトルは連続分布となる。しかし、□Iが検出部内で再度□Jを起こした後、□Kにより検出部にエネルギーを与えると□Lピークが形成される。

電子対生成では、この相互作用が起きるために必要なしきいエネルギーを差し引いた残りのエネルギーを電子と陽電子が分け合う。この際、□Aが要因となり放出される光子の検出過程により、2つの□Mピークが生じる。

以上の要因の他、核種の壊変において複数の γ 線が短時間に引き続いて放出される場合には、それら γ 線の相互の組合せに対応した□Nピークが形成されることがある。

<A~Hの解答群>

- | | | |
|----------|-----------|-----------------------|
| 1 電子軌道 | 2 全吸収 | 3 サム |
| 4 エスケープ | 5 制動放射 | 6 内部転換電子 |
| 7 特性X線 | 8 オージェ電子 | 9 原子番号 |
| 10 密度 | 11 コンプトン端 | 12 コンプトン散乱 γ 線 |
| 13 励起レベル | 14 陽電子消滅 | |

<I~Nの解答群>

- | | | |
|----------|----------|----------------------|
| 1 全吸収 | 2 光電効果 | 3 コンプトン効果 |
| 4 電子対生成 | 5 エスケープ | 6 コンプトン散乱 γ 線 |
| 7 コンプトン端 | 8 サム | 9 コンプトン電子 |
| 10 吸収端 | 11 カスケード | |

II 放射性核種 ^{46}Sc の点線源(壊変率: n_0)を Ge 検出器の近傍に置き、 γ 線のパルス波高スペクトルを測定した。この ^{46}Sc は下図に示すように壊変する。0.889 MeV のエネルギー準位の半減期は 4 ps であり十分に短く、放出される 2 つの γ 線(γ_1 線と γ_2 線)の放出は 事象とみなすことができる。

このため、 γ_1 線と γ_2 線について、

γ_1 線のピーク効率を ε_1 、

γ_2 線のピーク効率を ε_2 、

γ_1 線の全計数効率を ε_{T1} 、

γ_2 線の全計数効率を ε_{T2} 、

また、 γ_1 線の正味のピーク計数率を n_1 、

γ_2 線の正味のピーク計数率を n_2 、

サムピークの正味の計数率を n_{12}

で表すと、次の(1)から(3)の 3 つの関係式が得られる。

$$\begin{cases} n_1 = n_0 (\text{ア}) \varepsilon_1 & (1) \\ n_2 = n_0 (\text{イ}) \varepsilon_2 & (2) \\ n_{12} = n_0 \varepsilon_1 \varepsilon_2 & (3) \end{cases}$$

さらに、 γ_1 線と γ_2 線を合わせた全スペクトルの正味の計数率(n_T)は、 $n_T = n_0 (\varepsilon_{T1} + \varepsilon_{T2} - \text{ウ})$ で与えられるので、この線源の壊変率(n_0)は、 $n_0 = n_T + \text{エ}$ で求めることができる。この方法は、 γ 線のパルス波高スペクトルに着目した比較的簡便な放射能測定法であり、 法と呼ばれる。

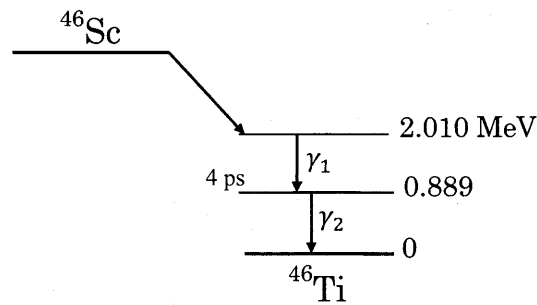


図 ^{46}Sc の壊変図式

<O、Pの解答群>

- | | | | |
|---------|-----------|----------|---------|
| 1 ピーク弁別 | 2 スペクトル分析 | 3 全吸収ピーク | 4 サムピーク |
| 5 定立体角 | 6 同時 | 7 競合 | 8 背反 |

<ア～エの解答群>

1 ε_1

2 ε_2

3 $\varepsilon_{T1}\varepsilon_{T2}$

4 $\varepsilon_1\varepsilon_2$

5 $\frac{n_1 n_2}{n_{12}}$

6 $\frac{n_1 n_2}{n_T}$

7 $\frac{n_T n_2}{n_1}$

8 $\frac{n_T n_1}{n_2}$

9 $1-\varepsilon_1$

10 $1-\varepsilon_2$

11 $1-\varepsilon_{T1}$

12 $1-\varepsilon_{T2}$

問2 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 中性子は電荷を有しない粒子であるので、中性子が直接検出されるのではなく、中性子による核反応や軽い原子核との衝突によって生じた荷電粒子を検出することによって間接的に検出される。

低速の中性子の検出には、主に(n, α)反応、(n, p)反応などが用いられるが、この際、反応のQ値が□A□、すなわち□B□反応であることが必要である。このうち、最もよく用いられるのは $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応であるが、熱中性子の場合、生成する ^7Li の約94%が0.48 MeVの励起状態に、残りの約6%が直接基底状態になる。直接基底状態になる場合のQ値は2.79 MeVである。このエネルギーが運動量保存則にしたがって α 粒子と基底状態の ^7Li 核とに分配され、 α 粒子の運動エネルギー E_α は□ア□ MeV、 ^7Li 核の運動エネルギー E_{Li} は□イ□ MeVとなる。 ^7Li 励起状態を経由する場合には、 α 粒子の運動エネルギーと ^7Li 励起核の運動エネルギーの和は□ウ□ MeVであり、これが α 粒子と ^7Li 励起核とに分配され、 α 粒子の運動エネルギー E'_α は□エ□ MeV、 ^7Li 励起核の運動エネルギー E'_{Li} は□オ□ MeVとなる。なお、 ^7Li 励起状態を経由する場合は、さらに0.48 MeVの γ 線が放出され、基底状態になる。

高濃縮 ^{10}B を気体状の BF_3 とし、比例計数管の計数ガスとしたものを BF_3 比例計数管といい、中性子の計測にしばしば用いられる。この場合、計数ガス中で熱中性子との核反応が起きると、計数ガスに2.79 MeVもしくは□ウ□ MeVのエネルギーが与えられる。いずれの場合でも計数管への印加電圧をプラトー領域に設定すれば、これらの反応をほぼ100%の効率で計数することが可能である。0.48 MeV γ 線はガス中で相互作用をする確率は少ない。仮に相互作用を起こしたときでも、このときは α 粒子とLi反跳核とによって、□ウ□ MeVに相当するパルス信号も同時に検出されるので、パルス数の計測にとって、その影響はほとんどない。ただし、中性子との反応が計数管内壁に近い場所で生じたとき、計数ガスに必ずしも全エネルギーが付与されず、パルス波高が減少する場合がある。これを□C□効果といっている。

$^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応の断面積は非常に大きく、特に熱中性子に対して感度の高い測定ができる。断面積は中性子の速度を v とすると、□D□に比例する。これは、中性子束の解析にとって都合のよい特性である。

<A～Dの解答群>

- | | | | |
|------------------|-----------|--------|-------------------------|
| 1 正 | 2 負 | 3 吸熱 | 4 発熱 |
| 5 共鳴 | 6 弾性 | 7 励起 | 8 壁 |
| 9 反跳 | 10 クエンチング | 11 v | 12 $\frac{1}{\sqrt{v}}$ |
| 13 $\frac{1}{v}$ | | | |

<ア～オの解答群>

- | | | | |
|--------|---------|---------|---------|
| 1 0.48 | 2 0.51 | 3 0.67 | 4 0.75 |
| 5 0.84 | 6 1.01 | 7 1.16 | 8 1.47 |
| 9 1.53 | 10 1.78 | 11 2.31 | 12 2.79 |

II BF_3 比例計数管は特に熱中性子に対して高い感度を有するが、この計数管の周りをポリエチレン、パラフィンなどの $\boxed{\text{E}}$ を多く含む物質でとり囲み、中性子を効率的に $\boxed{\text{F}}$ させれば、高速の中性子の測定もできる。これを、一般に $\boxed{\text{F}}$ 型中性子検出器といい、そのエネルギー特性は $\boxed{\text{F}}$ 材の厚さや形状、種類によって調節することができる。例えば、このような利用として、エネルギー特性を $\boxed{\text{G}}$ 換算係数曲線に $\boxed{\text{H}}$ するようになると、中性子についてのエネルギー情報なしに、中性子による $\boxed{\text{G}}$ を広いエネルギー範囲にわたって直読することができる。このような中性子測定器を歴史的経過から $\boxed{\text{I}}$ と呼ぶこともある。また、エネルギー特性をほぼ平坦にしたものがあり、これを $\boxed{\text{J}}$ と呼んでいる。そのほか、厚さの異なるいくつかの検出器の応答の差から、中性子エネルギー分布に関する情報を得る手法も用いられている。

<E～Jの解答群>

- | | | |
|-----------|----------|--------------|
| 1 重水素 | 2 水素 | 3 炭素 |
| 4 カドミウム | 5 レムカウンタ | 6 カウンタテレスコープ |
| 7 ロングカウンタ | 8 吸収線量 | 9 1 cm 線量当量 |
| 10 組織加重係数 | 11 逆比例 | 12 適合 |
| 13 反跳 | 14 減速 | 15 吸収 |

Ⅲ 核反応を利用した中性子検出器として ${}^3\text{He}(n, p)$ 反応を利用した ${}^3\text{He}$ 比例計数管もよく用いられる。この反応の Q 値は 0.765 MeV である。この場合、単に中性子の検出にとどまらず、高速中性子のスペクトロメータとしても用いることができる。このときのパルス波高は中性子のエネルギーに を加えたものとなる。

の場合には、軽い原子核、特に水素核との衝突による反跳陽子の検出を介して中性子を計測することもできる。例えば CH_4 や水素を充填した比例計数管、液体シンチレーションカウンタなどである。ただし、この場合、入射中性子のエネルギー E_n が線スペクトルであっても、反跳陽子のエネルギー分布が 0 から までの 連続分布となるので、中性子のエネルギー解析が複雑となる。

<K~Oの解答群>

- | | | |
|-------------------|-------------------|---------------------|
| 1 ${}^2\text{H}$ | 2 ${}^3\text{H}$ | 3 ${}^2\text{He}$ |
| 4 ${}^3\text{He}$ | 5 γ 線エネルギー | 6 反跳エネルギー |
| 7 Q 値 | 8 He の励起エネルギー | 9 高速中性子 |
| 10 熱外中性子 | 11 E_n | 12 $\frac{1}{2}E_n$ |
| 13 ボルツマン分布に従う | 14 一様の | 15 ガウス分布に従う |

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 現在、数多くの放射線発生装置が様々な目的で使用されている。放射線発生装置の管理においては、放射化するメカニズムについて理解しておくことが必要である。

我が国では、放射線発生装置の種類では電子加速器が最も多く設置されている。電子加速器の利用としては高エネルギーの電子を加速して直接対象物に照射する場合と、電子をターゲット（金属など）に照射して発生する□Aを対象物に照射する場合とがある。後者の場合、10 MeV以上の電子線をターゲットに照射すると□Bが起こり、ターゲットやその近傍が放射化することがある。□Bは重金属では10 MeV程度でも起こるが、酸素などの軽元素では20 MeV程度にならないと起きない。□Bによって二次的に発生する□Cは周辺部に広がり、微弱ではあるが放射化する可能性がある。例えば加速器の構造材の鉄やステンレス中に ^{60}Co が検出されることがあるのは、わずかに含まれているコバルトの□Dによる。

サイクロトロンは□Eを加速するのに適しており、放射性同位元素を製造するのに使用されることが多い。加速エネルギーが10 MeV程度では重金属元素の核反応は起きないが、軽元素では起こる。□Eが標的物質中で停止するまでの距離を□Fという。加速エネルギーが数十 MeV程度では標的中で停止するため、狭い領域に強い放射能が生じることになる。このため、ターゲット近傍は局所的に高い線量率となっている可能性があることから、サイクロトロン室内で作業する場合には、線量の減衰を待って行うなど被ばくの低減に努める必要がある。また、標的物質中で二次的に発生する□Cによって周辺部も放射化することから、加速器室内に持ち込む物品に注意する。

<A～Fの解答群>

- | | | |
|-----------|-----------------|---------|
| 1 励起 X 線 | 2 即発 γ 線 | 3 制動放射線 |
| 4 中性子捕獲反応 | 5 光核反応 | 6 核破碎反応 |
| 7 中性子 | 8 電子 | 9 荷電粒子 |
| 10 中間子 | 11 飛程 | 12 阻止能 |
| 13 平均自由行程 | | |

II 軽元素では、サイクロトロンを用いて製造できる放射性核種は、その安定同位体比べて \boxed{G} の数が少なく、 \boxed{H} する性質をもつものが多い。次の表は核医学診断の手法の一つである \boxed{I} での診断薬調製にしばしば用いられる放射性同位元素を製造する際に利用される反応を示したものである。表中の(1)から(4)で製造される放射性同位元素は、順に \boxed{J} 、 \boxed{K} 、 \boxed{L} 及び \boxed{M} である。

	標的核	入射粒子	放出粒子	生成核	半減期(分)
(1)	^{14}N	d	n	\boxed{J}	2.04
(2)	^{14}N	p	α	\boxed{K}	20.4
(3)	^{16}O	p	α	\boxed{L}	9.97
(4)	^{18}O	p	n	\boxed{M}	109.8

また、 \boxed{L} を標的核 ^{12}C から製造するには \boxed{N} 反応を利用することができ、 \boxed{M} を標的核 ^{20}Ne から製造するには \boxed{O} 反応を利用することができる。

表中の放射性同位元素はいずれも半減期が短い。それらのうち、1 GBq の放射能が約 400 分経過後に 1 kBq にまで減衰するのは \boxed{P} である。

<G~Iの解答群>

- | | | |
|------------------|-----------------------|----------|
| 1 中性子 | 2 陽子 | 3 電子 |
| 4 β^- 壊変 | 5 β^+ 壊変 | 6 核異性体転移 |
| 7 PET(陽電子放射断層撮影) | 8 SPECT(シングルフォトン断層撮影) | |

<J~Mの解答群>

- | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 ^{11}C | 2 ^{12}C | 3 ^{13}N | 4 ^{15}N | 5 ^{14}O |
| 6 ^{15}O | 7 ^{17}O | 8 ^{17}F | 9 ^{18}F | 10 ^{19}F |

<N、Oの解答群>

- | | | | |
|-------------------|-------------------|----------|------------------|
| 1 (p, n) | 2 (d, p) | 3 (d, n) | 4 (d, α) |
| 5 (α , n) | 6 (α , p) | | |

<Pの解答群>

- | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 ^{11}C | 2 ^{12}C | 3 ^{13}N | 4 ^{15}N | 5 ^{14}O |
| 6 ^{15}O | 7 ^{17}O | 8 ^{17}F | 9 ^{18}F | 10 ^{19}F |

Ⅲ 1 GBq の ^{18}F 標識化合物(1 cm 線量当量率定数 : $0.165 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)がガラスバイアル中に 1 cm^3 の液体として入っている。

点線源とみなし、バイアルの遮蔽効果を見做せしめた場合に 50 cm の距離での 1 cm 線量当量率は $\boxed{\text{Q}}$ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ となる。そこで、鉛で遮蔽を行うことにし、線源の出し入れにはトングを使用することにした。鉛の密度は $11 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、質量減弱係数は $0.13 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ とする。半価層及び 1/10 価層はそれぞれ $\boxed{\text{R}}$ cm 及び $\boxed{\text{S}}$ cm となる。したがって、バイアルが厚さ 5 cm の鉛遮蔽体で囲まれている状態での線量はおおよそ $\boxed{\text{T}}$ 分の 1 に減衰することになる。

<Qの解答群>

1 16.5 2 82.5 3 165 4 660 5 1,650

<R、Sの解答群>

1 0.2 2 0.5 3 1.0 4 1.6 5 2.0
6 3.2

<Tの解答群>

1 10 2 50 3 100 4 500 5 1,000
6 2,000

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 GM計数管は□A、□Bを放出する核種による表面汚染測定にしばしば用いられる。しかし、□Cのような数十keV以下の□Aのみを放出する核種については、検出は困難である。

試料-検出器間に厚みの異なるアルミニウム吸収体を配置して計数することで得られる□Aの□Dは、核種の同定に有用な情報である。

バックグラウンドの低減には空間線量率を低く保つことが有効である。換気による室内空気の交換は、天然放射性核種□Eに起因するバックグラウンドを低く保つのに効果がある。

<A～Dの解答群>

- | | | | |
|----------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 α 線 | 2 β 線 | 3 γ 線 | 4 中性子線 |
| 5 ^3H | 6 ^{32}P | 7 ^{35}S | 8 ^{90}Sr |
| 9 飛程 | 10 飛跡数 | 11 熱量 | 12 蛍光 |

<Eの解答群>

- | | | |
|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 1 ^{14}C | 2 ^{40}K | 3 ^{226}Ra の子孫核種 |
|-------------------|-------------------|---------------------------|

II 液体シンチレーション計数装置は排水の放射能濃度の測定にも利用される。一定量の試料をバイアル中でシンチレーションカクテルと混合して測定する。バックグラウンドを低く保つ必要がある場合には、プラスチックバイアルも用いられるが、ガラスバイアルでは□F含有量が低い素材が利用される。シンチレーションカクテルには□Gを含むものが用いられる。一方、対象核種が ^{32}P の場合には、シンチレーションカクテルを使わないで、□Hを検出する方法もある。試料が着色している場合には、シンチレーションカクテルと混合した後、□Iを起こすことがあるので、あらかじめ着色成分を除去することがある。有機物が原因の場合には□Jへの吸着、鉄分が原因の場合には□Kなどが着色成分の除去に有効である。いずれの場合も、測定対象の放射性核種の挙動には注意を要する。

<F～Jの解答群>

- | | | | |
|--------------|----------|------------|-----------|
| 1 ナトリウム | 2 マグネシウム | 3 カリウム | 4 酸化剤 |
| 5 乾燥剤 | 6 乳化剤 | 7 中性子 | 8 チェレンコフ光 |
| 9 δ 線 | 10 放射線分解 | 11 色クエンチング | 12 気体発生 |
| 13 シリカゲル | 14 活性炭 | 15 塩化カルシウム | |

<Kの解答群>

- | | | | |
|--------|------|------|---------|
| 1 沈殿生成 | 2 煮沸 | 3 凍結 | 4 超音波洗浄 |
|--------|------|------|---------|

Ⅲ 液体シンチレーション計数装置は α 線放出核種の測定にも利用できる。元素では α 線放出核種が各元素に知られており、その捕集にはイオン交換樹脂による分離の他にによるイオン対抽出などが適用されてきた。これ以外に、壊変系列をつくる天然の放射性核種にも α 線放出核種が多く知られている。 α 線検出器としてはがよく知られているが、厚みの小さい試料を調製して測定する必要がある。

廃液の測定の際には、化学分離による捕集の効率も測定効率とともに考慮する必要がある。廃液 20 L から 1 L を分取して、濃縮・化学分離により、10 mL の分析検体を得た。この検体中には元の廃液 1 L 中の ^{210}Po の 90% が捕集されたと見積もられた。この検体から 1 mL を分取して、10 mL ミニバイアル中でシンチレーションカクテルと混合した。液体シンチレーション計数装置で計測したところ、60 cpm であった(検出効率: 90%)。元の廃液中の ^{210}Po の濃度は $\text{Bq}\cdot\text{mL}^{-1}$ となる。

<L~Nの解答群>

- | | | |
|-----------------|-----------------|-------------|
| 1 アルカリ金属 | 2 アルカリ土類金属 | 3 ランタノイド |
| 4 アクチノイド | 5 β -ジケトン | 6 オキシソ |
| 7 リン酸トリブチル(TBP) | 8 Si 表面障壁型検出器 | 9 Ge(Li)検出器 |
| 10 Si(Li)検出器 | | |

<アの解答群>

- | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 1.2×10^{-3} | 2 6.0×10^{-3} | 3 8.4×10^{-3} | 4 1.2×10^{-2} |
| 5 6.0×10^{-2} | | | |

Ⅳ Ge 検出器は放出核種の分析に用いられる。検出器は、バックグラウンド低減のために、鉛などの遮蔽体中に設置される。バックグラウンドは ^{40}K 、などの天然放射性核種による。核種別の定量にはに着目し、その強度から各核種の濃度を算出する。NaI(Tl)シンチレーション検出器に比べると、が著しく高く、核種分析に化学分離を要しない場合も多々見受けられるようになった。

<O、Pの解答群>

- | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 1 α 線 | 2 β 線 | 3 γ 線 | 4 中性子線 |
| 5 ^{134}Cs | 6 ^{206}Pb | 7 ^{208}Tl | 8 ^{234}U |

<Q、Rの解答群>

- | | | |
|-------------|------------|------------|
| 1 全エネルギーピーク | 2 コンプトン端 | 3 エスケープピーク |
| 4 オージェ効果 | 5 エネルギー分解能 | 6 パルス高 |
| 7 検出効率 | | |

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

Ⅰ 内部被ばくは、放射性物質が経口、吸入、経皮(創傷を含む)により体内に取り込まれることにより起こる。経口摂取された放射性物質が消化管から吸収されると、血液中に移行し、それぞれの化学的性質や物理的性状に応じて特定の臓器・組織に分布する。例えば、□A□やセシウムは全身にはほぼ均等に分布するが、□B□、□C□及びラジウムは骨に、□D□は甲状腺に集積する。また□C□は腎臓にも沈着しやすく、金属毒性のため腎障害の原因物質として知られている。物理的性状により臓器親和性が決まるものとしてはコロイドがあげられる。コロイド状の鉄や金が□E□系の細胞に取り込まれることが知られている。

粒子状の放射性物質を吸入した場合、□F□により沈着する呼吸器系の部位が異なる。□F□が大きい場合、主に鼻粘膜に沈着するが、不溶性の放射性物質の場合は粘膜上皮細胞による繊毛運動などによって、その多くが排除される。不溶性のプルトニウム化合物を吸入した場合、肺胞壁から体内に吸収されにくく肺に長期に残留し、肺がんの原因になるとともに、少しずつ血中に移行し、□G□や骨に集積し、がんの原因になると考えられている。

<A～Dの解答群>

- | | | | |
|-----------|--------|-------|-----|
| 1 トリチウム | 2 コバルト | 3 ヨウ素 | 4 鉄 |
| 5 ストロンチウム | 6 ウラン | | |

<Eの解答群>

- | | | | |
|-------|--------|-------|-------|
| 1 神経 | 2 細網内皮 | 3 循環器 | 4 生殖器 |
| 5 内分泌 | | | |

<Fの解答群>

- | | | | |
|-------|--------|------|----------|
| 1 分子量 | 2 原子番号 | 3 粒径 | 4 物理的半減期 |
|-------|--------|------|----------|

<Gの解答群>

- | | | | |
|-------|------|------|------|
| 1 心臓 | 2 精巣 | 3 肝臓 | 4 大脳 |
| 5 甲状腺 | | | |

II 体内に摂取された放射性物質による内部被ばく線量を評価する主な方法として、空气中濃度計算法、体外計測法、バイオアッセイ法等がある。

□Hは、体内の放射性物質から放出される放射線を測定することにより、体内に残留している放射性物質を定性・定量分析する方法で、透過性の高い γ 線、X線を放出する核種に対して用いられるが、 α 線のみ、あるいは□Iのような β 線のみを放出する核種には用いることはできない。全身を測定する装置は、□Jと呼ばれ、体内汚染の有無のスクリーニングや核種の定量分析等の目的に応じた検出器が用いられている。吸入摂取により肺に沈着した ^{239}Pu からL殻電子の放出に伴って発生するエネルギーが13~20 keVの□Kや ^{241}Am から放出されるエネルギーが60 keVの□Lを測定する装置は肺モニタと呼ばれている。

□Mは、内部被ばくした人の生体試料中の放射性物質の量を定性・定量分析し、体内の放射線量を評価する方法である。対象試料として通常よく用いられるものとしては鼻スミアや□Nがある。□Nの分析により得られた測定結果から国際放射線防護委員会(ICRP)により示されている代謝モデルを用いて摂取量を評価するのが一般的である。測定装置としては、□OやICP質量分析計が主として用いられる。□Oによる測定に際しては、試料の着色による測定妨害を防ぐために、試料の前処理として過酸化水素添加による脱色操作を施すことがある。

内部被ばく線量評価にあたっては、測定された放射能から体内摂取量を推定し、これに定められた線量係数を乗じて□Pを算出する。

<Hの解答群>

- | | | |
|------------|-----------|------------|
| 1 空气中濃度計算法 | 2 体外計測法 | 3 バイオアッセイ法 |
| 4 ろ過捕集法 | 5 モンテカルロ法 | |

<Iの解答群>

- | | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 1 ^{60}Co | 2 ^{90}Sr | 3 ^{125}I | 4 ^{137}Cs | 5 ^{192}Ir |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|

<Jの解答群>

- | | |
|------------------|-----------|
| 1 液体シンチレーションカウンタ | 2 GM計数管 |
| 3 ホールボディカウンタ | 4 キュリーメータ |
| 5 電離箱 | |

<K、Lの解答群>

- | | | | |
|--------------|----------|--------|--------------|
| 1 特性X線 | 2 オージェ電子 | 3 制動X線 | 4 γ 線 |
| 5 α 線 | | | |

<Mの解答群>

- | | | |
|------------|-----------|------------|
| 1 空气中濃度計算法 | 2 体外計測法 | 3 バイオアッセイ法 |
| 4 ろ過捕集法 | 5 モンテカルロ法 | |

<Nの解答群>

- | | | | |
|------|-------|-------|-----------|
| 1 血液 | 2 尿・糞 | 3 染色体 | 4 歯のエナメル質 |
| 5 毛髪 | | | |

<Oの解答群>

- | | |
|----------------------|---------------|
| 1 α 線スペクトロメータ | 2 液体クロマトグラフィー |
| 3 液体シンチレーションカウンタ | 4 Ge半導体検出器 |
| 5 ホスウィッチ形シンチレーション検出器 | |

<Pの解答群>

- | | | |
|----------|-----------|----------|
| 1 預託実効線量 | 2 吸収線量 | 3 集団実効線量 |
| 4 照射線量 | 5 1cm線量当量 | |

Ⅲ 放射性物質を体内摂取した場合、医師の判断に基づき、生物学的影響を低減するための除染治療を行う。除染治療においては、摂取した放射性物質の種類や摂取経路等を踏まえ、適切な方法を選択する。消化管での吸収を低減するためには、胃洗浄や下剤の投与、プルシアンブルーなどの 投与などが行われる。主に腎臓から排泄される核種については の投与が、そして、安定同位体投与により内部被ばくを低減する方法の例としては、トリチウム摂取の際の があげられる。キレート剤による体外排泄促進法では、コバルトや銅などの重金属についてはペニシラミンが、プルトニウムやアメリシウムなどの超ウラン元素については がそれぞれ用いられる。これらの処置は、体外排泄効果をモニタリングしながらその継続の可否を判断する。

<Q~Tの解答群>

- | | | |
|-----------|-------------|------------|
| 1 胆汁排泄促進剤 | 2 制酸剤 | 3 制吐剤 |
| 4 イオン交換剤 | 5 利尿剤 | 6 抗利尿剤 |
| 7 水分摂取 | 8 塩分摂取 | 9 重炭酸ナトリウム |
| 10 活性炭 | 11 ジメルカプロール | 12 DTPA |
| 13 DHA | 14 カリウム | |

問6 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。

Ⅰ 原子力施設や放射線利用施設等において、業務を遂行する上で放射線に被ばくすることを職業被ばくといい、その限度が定められている。また、放射線業務に従事する者(放射線作業員)に対しては、放射線による障害の発生を防止するために、被ばく線量を把握するための測定を行うことが法令で義務づけられている。

放射線作業員の被ばく形態の大半は□ A □被ばくであり、積算型個人被ばく線量計を用いた被ばく線量測定が基本となる。現在、我が国で普及している積算型個人被ばく線量計には、素子に対して紫外線による刺激を与えることで発生する蛍光を利用して放射線量を読み出す□ B □や、可視光による刺激を与えることで発生する蛍光を利用して放射線量を読み出す□ C □などがある。

我が国の放射線作業員数は近年増加傾向を示していて、主に□ D □分野の放射線作業員数の増加による。□ D □分野における放射線作業員数は全放射線作業員数の約50%を占めている。

< A の解答群 >

- | | |
|------|------|
| 1 内部 | 2 外部 |
|------|------|

< B、C の解答群 >

- | | |
|---------------|----------------|
| 1 フィルムバッジ | 2 蛍光ガラス線量計 |
| 3 電子式個人被ばく線量計 | 4 光刺激ルミネセンス線量計 |
| 5 熱ルミネセンス線量計 | |

< D の解答群 >

- | | | | |
|-------|------|--------|-------|
| 1 原子力 | 2 医療 | 3 教育研究 | 4 鉱工業 |
|-------|------|--------|-------|

II ICRP 1990 年勧告において、航空機の乗務員の宇宙線による被ばくや、一部の高ラドン濃度中で
の作業など、自然放射線による被ばくも職業被ばくとして取り扱われるようになった。

国内では、放射線審議会において職務として航空機に頻繁に搭乗する乗務員の被ばくに関して、
年間 5 mSv を管理目標値とするガイドラインが策定され、各航空会社はこのガイドラインに沿った
対応が求められている。

民間航空機が飛ぶ地上 11 km 程度の高さにおける乗務員の被ばくは主に宇宙から飛来する宇宙
線による。宇宙線の源は、太陽から放出される粒子と太陽系以外から飛来する [E] 宇宙線とに大
別される。大気圏内での被ばくの大部分は太陽粒子に比べエネルギーの高い [E] 宇宙線起源のも
のによる。[E] 宇宙線の組成は 98% が原子核で残り 2% のほとんどが [F] である。原子核のう
ち 87% が [G]、12% が [H]、残りの 1% がさらに重いもので構成される。

地球の磁気圏に入ってくる [E] 宇宙線の粒子数は太陽活動の影響を受ける。約 11 年の太陽活
動周期に合わせ太陽磁場が [I] 場合には地球大気圏まで到達できる [E] 宇宙線の粒子数が増
加し、地上や航空機内で受ける宇宙線による被ばく線量は増加する。また、まれではあるが太陽の
黒点付近で突然激しい活動が起こり、高エネルギーのプラズマ粒子が大量に放出されることがある。
この現象は [J] と呼ばれ、航空機の乗務員が上空で受ける被ばく線量を増加させる原因となり得
る。

宇宙線による線量率は高度によって異なり、高々度で高くなる。地上 11 km 程度の高さでは、宇
宙線は地表に比べ約 100 倍程となる。地表ではミュオン粒子の実効線量への寄与が相対的に大きい
のに対し、[K] の寄与は高度とともに急激に増加し、地上 11 km 程度の高さの被ばくでは [K] に
よる被ばくが最も大きな割合を占める。また、宇宙線による線量率は [L] の影響を受けるため、
同様な高度を飛行し飛行時間が同程度の場合でも、成田ーシドニー便と成田ーサンフランシスコ便
を比較すると [M] の方が被ばく線量は高くなる。成田ーニューヨーク便の往復により乗務員や乗
客は約 [N] mSv の被ばくをする。

< E の解答群 >

- | | | | |
|-----------|-------|------|------|
| 1 ブラックホール | 2 超新星 | 3 星雲 | 4 銀河 |
|-----------|-------|------|------|

< F ~ H の解答群 >

- | | | | |
|-------|-------------|---------|--------|
| 1 中性子 | 2 陽子(水素原子核) | 3 パイ粒子 | 4 電子 |
| 5 光子 | 6 ヘリウム原子核 | 7 炭素原子核 | 8 鉄原子核 |

< I の解答群 >

- | | |
|------|------|
| 1 強い | 2 弱い |
|------|------|

< J の解答群 >

- | | | |
|--------|-------|-------|
| 1 ゴースト | 2 フレア | 3 コロナ |
|--------|-------|-------|

< K の解答群 >

- | | | | |
|-------|------|--------|------|
| 1 中性子 | 2 陽子 | 3 パイ粒子 | 4 電子 |
| 5 光子 | | | |

<Lの解答群>

- 1 湿度 2 気圧 3 地磁気 4 気温

<Mの解答群>

- 1 前者 2 後者

<Nの解答群>

- 1 0.001~0.002 2 0.01~0.02 3 0.1~0.2 4 1~2
5 10~20

Ⅲ ラドンの影響としては、ウラン鉱山などその濃度が非常に高い場所での疫学調査で肺がんの過剰発生が認められている。

被ばくによる健康影響を考える上で重要なラドンには、天然に存在する放射性壊変系列であるウラン系列の途中にあるラジウム $\square O$ が壊変して生成されるラドン $\square P$ と、トリウム系列ラジウム $\square Q$ が壊変して生成されるラドン $\square R$ とがある。通常、ウラン系列のラドン $\square P$ をラドンと呼び、トリウム系列のラドン $\square R$ をトロンと呼ぶ。

岩石や土壌に含まれるラジウム $\square O$ が壊変して希ガスであるラドンとなり空気中に散逸する。ラドン自体の被ばく線量に対する寄与は希ガスであるために小さく、ほとんどが子孫核種の吸入による。ラドンの子孫核種は気管や肺胞に付着し、それらから放出される $\square S$ が、発がんに関して重要となる。

<O~Rの解答群>

- 1 216 2 218 3 220 4 222
5 224 6 226 7 228

<Sの解答群>

- 1 α 線 2 β 線 3 γ 線 4 電子線
5 中性子線 6 陽子線 7 X線

