

## 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

(法律別表第一に掲げる課目第二号から第六号及び第七号を含む)

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 (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、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 密封放射線源として最もよく使われるものの一つに、 $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$ 線源がある。その線源から放出される主な $\gamma$ 線のエネルギーは□ア keVであり、Csの原子核が $\beta$ 壊変して生成した□Aの原子核の励起状態から放出されるものである。このエネルギーの $\gamma$ 線が生体に入射すると、□Bと□Cを起こすが、しきい値のある□Dは起こさない。□Cを繰り返してエネルギーが低くなった $\gamma$ 線の一部は体外に逃れ、残りは□Bによって吸収される。□Bに対する原子断面積は物質の原子番号の□イ乗に比例する。また、この原子断面積は、吸収端付近での変化を除き、光子の□E。これらの過程により $\gamma$ 線のエネルギーのほとんどは二次電子の運動エネルギーに変換される。

□Bなどにより、原子の内殻軌道の電子が放出されて空孔が生じると、より外殻の電子がそれを埋めることにより□Fあるいはオージェ電子が放出される。これらのエネルギーを分析することによって、物質の元素分析や電子状態の研究をすることができる。

<アの解答群>

- |         |       |       |       |         |
|---------|-------|-------|-------|---------|
| 1 316   | 2 478 | 3 511 | 4 662 | 5 1,173 |
| 6 1,333 |       |       |       |         |

<Aの解答群>

- |     |      |      |      |
|-----|------|------|------|
| 1 I | 2 Xe | 3 Cs | 4 Ba |
|-----|------|------|------|

<B～Dの解答群>

- |         |         |          |           |
|---------|---------|----------|-----------|
| 1 同位体効果 | 2 光電効果  | 3 酸素効果   | 4 電子対生成   |
| 5 遮蔽効果  | 6 線量率効果 | 7 トンネル効果 | 8 コンプトン散乱 |

<イの解答群>

- |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 1～2 | 2 2～3 | 3 4～5 | 4 7～8 |
|-------|-------|-------|-------|

<Eの解答群>

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1 エネルギーが低くなるほど大きい | 2 エネルギーが低くなるほど小さい |
| 3 エネルギーに依存しない     |                   |

<Fの解答群>

- |        |        |        |      |
|--------|--------|--------|------|
| 1 制動X線 | 2 熱中性子 | 3 特性X線 | 4 陽子 |
|--------|--------|--------|------|

II 生成した二次電子は、生体中で分子と衝突して電離・励起を起こし、その近辺に複数のイオンやラジカルの集合体である **G** を生成する。一般に、電子の場合には **G** は飛跡に沿って **H** に生成するが、高 LET 粒子線の場合には飛跡に沿って連続的に生成する。

細胞中に最も多く含まれる成分は水であり、水分子の電離・励起後の反応を理解することは放射線の間接作用の評価に重要である。水分子の電離・励起によって生成する化学種の中でも反応性が高く、生体構成分子の損傷生成に関与するものに **I**、水素ラジカル、水和電子などがある。吸収されたエネルギー100 eV 当たりこれらの活性種が生成する数は **J** 値と呼ばれ、**I** と水和電子の場合は **ウ** 程度である。これらは生体内のほぼ全ての分子と反応して損傷となりうる分子変化を引き起こす。しかし **I** は細胞内に存在する **K** などと反応するとラジカル活性はなくなるので、放射線の影響は抑えられる。このようにラジカルと反応して失活させる化合物は **L** として使える可能性がある。

<G~Iの解答群>

- |                 |              |              |
|-----------------|--------------|--------------|
| 1 クラウド          | 2 スパー (スプール) | 3 フルエンス      |
| 4 ブラッグピーク       | 5 離散的        | 6 拡散的        |
| 7 飽和的           | 8 一酸化窒素ラジカル  | 9 ヒドロキシルラジカル |
| 10 スーパーオキシドラジカル |              |              |

<Jの解答群>

- |       |     |     |     |       |
|-------|-----|-----|-----|-------|
| 1 LET | 2 G | 3 W | 4 Q | 5 OER |
|-------|-----|-----|-----|-------|

<ウの解答群>

- |       |       |     |     |     |
|-------|-------|-----|-----|-----|
| 1 0.1 | 2 0.5 | 3 1 | 4 3 | 5 5 |
| 6 10  |       |     |     |     |

<Kの解答群>

- |                    |                    |          |        |
|--------------------|--------------------|----------|--------|
| 1 $\text{Ca}^{2+}$ | 2 $\text{Mg}^{2+}$ | 3 グルタチオン | 4 酸素分子 |
|--------------------|--------------------|----------|--------|

<Lの解答群>

- |       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 1 増感剤 | 2 中和剤 | 3 防護剤 |
|-------|-------|-------|

Ⅲ 細胞内で二次電子やラジカルによって変化を受ける分子で最も重要なのは DNA なので、DNA に起こる分子変化を考える。DNA は 、糖、 の三つの成分で構成され、 の対合性を利用して水素結合した二重らせん構造をとる長い鎖状分子である。遺伝情報は糖と  によって形成される鎖の上に並んでいる  種類の  の配列として保存されている。 はラジカルなどとの反応によって、チミングリコールや 8-ヒドロキシアデニンなどに変化する。糖部分や  基に損傷を受けて鎖構造が壊され、片方の鎖のみが切れた場合には 1 本鎖切断、両方の鎖が切れた時には 2 本鎖切断となる。ヒトの細胞に  $\gamma$  線が 1 Gy 吸収された時に、細胞 1 個当たり 1 本鎖切断は、2 本鎖切断の  倍生成する。

生成した DNA 損傷は細胞が持つ DNA 修復機構によって無害化される。2 本鎖切断は他の損傷に比べて修復されにくく、細胞にとっては最も重大な影響を与えられている。さらに、DNA 鎖上に複数の損傷が近接して生成したために、より修復されにくくなった  損傷が生成する。

<M～Oの解答群>

- |         |              |        |
|---------|--------------|--------|
| 1 塩基    | 2 アミノ酸       | 3 脂肪酸  |
| 4 硫酸    | 5 酢酸         | 6 リン酸  |
| 7 クエン酸  | 8 スパー (スプール) | 9 クラスタ |
| 10 ランダム |              |        |

<Eの解答群>

- |     |     |     |     |      |
|-----|-----|-----|-----|------|
| 1 4 | 2 5 | 3 6 | 4 8 | 5 10 |
|-----|-----|-----|-----|------|

<Oの解答群>

- |     |      |      |      |
|-----|------|------|------|
| 1 数 | 2 数十 | 3 数百 | 4 数千 |
|-----|------|------|------|

問2 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 放射線による確率的影響は、細胞に生じた突然変異が引き金となって起こる。突然変異の生成から影響の発現に至るプロセスは、次のように考えられている。

放射線照射された細胞ではDNAに塩基損傷、1本鎖切断、2本鎖切断等の損傷が生じる。これらのDNA損傷は、細胞に本来備わっている修復機構により修復される。生体の機能維持にも重要な2本鎖切断の修復機構には主として□Aと□Bの2経路が知られているが、修復の誤りが生じやすいのは、□Aである。

不完全または誤った修復がなされた場合は、□C等による細胞死を起こすだけでなく、細胞死を免れてDNA上の遺伝子の情報が変化したまま増殖して、遺伝子突然変異や染色体突然変異(染色体異常)を起こすこともある。遺伝子突然変異には塩基の置換や□D等が含まれる。染色体異常としては、モノソミーやトリソミーなどの□E異常は起こりにくく、□D、逆位、環状染色体、転座、二動原体染色体などの□F異常が起きやすいとされている。

突然変異を有する体細胞では、形質転換を起こしてがん化する確率が高くなり、生殖細胞に生じた突然変異は子孫に伝達されて遺伝的損傷や遺伝性疾患が発生する可能性が増す。

<A、Bの解答群>

- |           |              |           |
|-----------|--------------|-----------|
| 1 塩基除去修復  | 2 ヌクレオチド除去修復 | 3 非相同末端結合 |
| 4 相同組換え修復 |              |           |

<C、Dの解答群>

- |          |             |             |
|----------|-------------|-------------|
| 1 アポトーシス | 2 エクソサイトーシス | 3 エンドサイトーシス |
| 4 脱落     | 5 分割        | 6 欠失        |

<E、Fの解答群>

- |      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| 1 数的 | 2 質的 | 3 機能 | 4 構造 |
|------|------|------|------|

II ヒトにおける放射線発がんの調査研究としては、原爆被爆者の疫学調査が代表的なものであり、白血病とそれ以外の臓器・組織に生じる多くの固形がんでは線量と発生率との関係が明らかにされている。

日本人では少ない **G** 白血病を除いた場合、白血病は、被爆後2～3年で増加しはじめ、6～7年でピークとなり、それ以降次第に減少しているのが特徴である。これに対して、乳房、甲状腺、<sup>ぼうこう</sup>膀胱、卵巣、肺、結腸、食道などに生じる固形がんは、被爆後10～15年くらいで増加が始まり、年とともに増加し続けており、統計的に有意な発生率の増加が認められている。しかし、前立腺、子宮、直腸、**H** などの固形がんには有意な発生率増加はみられていない。

このように、白血病と固形がんでは潜伏期と発生パターンが異なるが、横軸に被ばく線量、縦軸に発生率をとった線量効果関係でも違いがみられ、白血病には、**I** モデルが、また固形がんには、**J** モデルがそれぞれ適用されている。

一方、放射線による遺伝性（的）影響については、これまでの原爆被爆者の調査では、被爆していない集団と比べて有意な差は認められていない。ヒトにおける遺伝性（的）影響の発生率を推定する方法として、ショウジョウバエやマウスなどの動物実験により求めた突然変異率から線量率効果や動物種差等いくつかの要因で補正して直接推定する直接法と、総突然変異率を自然突然変異率の2倍にするのに必要な線量、すなわち、**K** を動物実験により求め、ヒトの遺伝性疾患の自然発生率と比較して相対的な発生率を推定する間接法とがある。**K** が大きいと遺伝性（的）影響は起こりにくい、ヒトではマウス等の実験から **ア** Gy程度と推定されている。

<G、Hの解答群>

- |                    |                    |          |          |
|--------------------|--------------------|----------|----------|
| 1 急性骨髄性            | 2 慢性骨髄性            | 3 急性リンパ性 | 4 慢性リンパ性 |
| 5 胆嚢 <sup>のう</sup> | 6 膵臓 <sup>すい</sup> | 7 肝臓     | 8 胃      |

<I～Kの解答群>

- |        |        |           |        |
|--------|--------|-----------|--------|
| 1 直線   | 2 2次曲線 | 3 直線-2次曲線 | 4 倍加線量 |
| 5 等価線量 | 6 相対線量 |           |        |

<アの解答群>

- |       |       |     |     |
|-------|-------|-----|-----|
| 1 0.1 | 2 0.2 | 3 1 | 4 5 |
|-------|-------|-----|-----|

Ⅲ 国際放射線防護委員会（ICRP）が提唱する放射線防護体系では、確率的影響の防護にあたっては、線量及び線量率の高低にかかわらず同じ突然変異が確率的に生じ、影響の発生率は線量に比例するという仮定に基づいて、**L**モデルが適用されている。

この**L**モデルに従い、高線量・高線量率被ばくである原爆被爆者のがんの発生率から、リスク係数（単位線量当たりのがんの発生率）を求める。低線量・低線量率被ばくでのリスク係数を推定するために**M**を2として、原爆被爆者等のデータから得られたリスク係数を2で除することにより低線量域でのリスク係数の推定値が得られる。

ICRPは、ある年齢分布の集団における確率的影響について男女で平均したリスク係数（名目リスク係数）を勧告している。ICRP2007年勧告では、子供から老人までの全ての年齢集団（全集団）で1 Sv当たりのがんの名目リスク係数を5.5%、成人（18歳から64歳までの就労年齢）集団で4.1%としている。

同様に、遺伝性（的）影響の名目リスク係数も示されているが、ICRP2007年勧告では、評価対象を被ばくした個人からみてはじめての**イ**世代までに限り、突然変異からの回復があることなどを考慮した結果、ICRP1990年勧告値より小さく、1 Sv当たり、全集団で**ウ**%、成人集団で0.1%となった。

確率的影響の防護では、**L**モデルが前提となるので、確定的影響のように線量限度を設けて発生を防止することはできない。そこで臓器・組織によるリスクの違いに基づく**N**を用いて、放射線被ばくにおける**オ**を算定し、**オ**限度を超えないように平常時の被ばくを制限する。その値は、放射線業務従事者では5年間の積算値が**エ** mSv（いずれの一年においても**オ** mSv）と定められている。

<L、Mの解答群>

- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| 1 しきい線量のない直線      | 2 しきい線量のない2次曲線 |
| 3 しきい線量のない直線-2次曲線 | 4 線量・線量率効果係数   |
| 5 線量減少率           | 6 生物学的効果比      |

<イ～オの解答群>

- |       |       |        |        |        |
|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1 0.2 | 2 0.4 | 3 0.6  | 4 0.8  | 5 1    |
| 6 2   | 7 3   | 8 4    | 9 15   | 10 25  |
| 11 35 | 12 50 | 13 100 | 14 120 | 15 150 |

<N、Oの解答群>

- |           |          |        |        |
|-----------|----------|--------|--------|
| 1 放射線加重係数 | 2 組織加重係数 | 3 線質係数 | 4 等価線量 |
| 5 実効線量    | 6 吸収線量   |        |        |

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

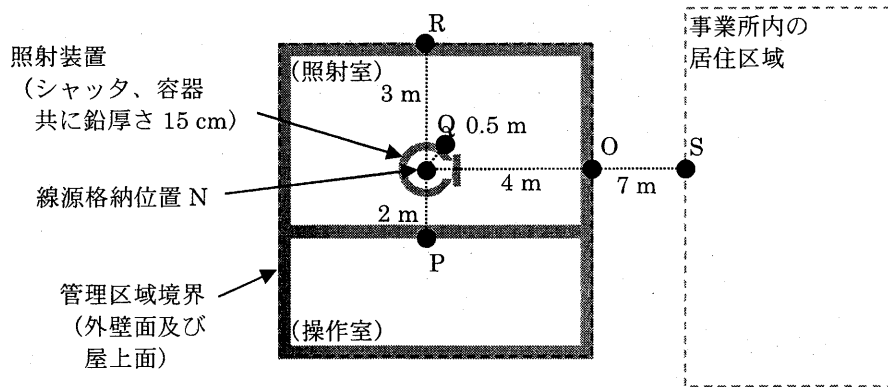


図1  $\gamma$ 線照射施設の平面図

Ⅰ ある事業所では、コンクリートの壁及び天井（厚さ 60 cm）で囲まれた照射室と操作室からなる  $\gamma$  線照射施設において、 $^{60}\text{Co}$  密封線源（10 GBq）1 個だけを取り付けて使用する照射装置（シャッタ、容器共に鉛厚さ 15 cm の遮蔽を備えたもの、以下「照射装置」という。）を用いることを検討している。シャッタ開放時の鉛容器の照射孔は点 O 方向に向いており、ビームは十分にコリメートされ、水平に照射される。照射室及び操作室の間はコンクリート壁（厚さ 60 cm）で隔てられており、照射装置のシャッタ操作は操作室から行われ、線源使用時（シャッタ開放中）は照射室には立ち入らない。操作室内の点 P は、線源 N から 2 m 離れている。線源保管時には、作業者は線源 N から 0.5 m まで近づくことができる（点 Q）。管理区域の境界はコンクリート外壁面及び屋上面であり、壁面及び屋上を含めて最も距離が短い境界上の点 R は線源 N から 3 m、ビーム軸上の点 O は 4 m 離れている。また、線源 N から 7 m の位置（点 S）に事業所内の居住区域がある。

ここで、作業者の 1 週間当たり最大となる実効線量、並びに管理区域の境界及び居住区域における 3 月間の実効線量を次の表の値を用いて評価する。

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 5 cm	鉛 10 cm	鉛 15 cm	コンクリート 60 cm
$^{60}\text{Co}$	$3.1\times 10^{-1}$	$8.3\times 10^{-2}$	$4.8\times 10^{-3}$	$2.6\times 10^{-4}$	$9.2\times 10^{-3}$

なお、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 時間、管理区域の境界においては 3 月間 500 時間、居住区域においては 3 月間 2,184 時間とする。また、散乱線の影響は考えないものとする。



線源を1週間につき最大40時間使用する状態か、又は最大40時間保管する状態で、施設内に立ち入る場合、使用施設内の人が常時立ち入る場所において線源の使用時及び保管時における作業者の実効線量は、それぞれ点Pの位置で最大   $\mu\text{Sv}$  及び点Qの位置で最大   $\mu\text{Sv}$  となる。これらの値はともに、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   $\mu\text{Sv}$  を超えない。

次に、線源を3月間につき最大500時間使用する状態か、又は最大500時間保管する状態で、事業所内に立ち入る場合、線源の使用時及び保管時における管理区域の境界における実効線量を評価すると、使用時及び保管時は、それぞれ最大   $\mu\text{Sv}$  及び   $\mu\text{Sv}$  となる。これらの値はともに、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   $\mu\text{Sv}$  を超えない。

同様に、線源を3月間につき最大500時間使用する場合、事業所内の居住区域における実効線量を評価する。この場合、線源の使用時における実効線量は最大   $\mu\text{Sv}$  となる。この値は、法令で定める事業所内の居住区域における線量限度である3月間につき   $\mu\text{Sv}$  を超える。

そこで、3月間における線源使用時間を短縮することも検討してみた。できる限り使用時間を長くすることを考えた場合、 時間までであれば、線源の保管時の線量寄与も含めたとしても、法令で定める線量限度を超えずに使用できる。

<A、Bの解答群>

- |                        |                        |                        |                        |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 $1.6 \times 10^{-4}$ | 2 $1.9 \times 10^{-3}$ | 3 $7.5 \times 10^{-2}$ | 4 $1.4 \times 10^{-1}$ |
| 5 $3.4 \times 10^{-1}$ | 6 $1.8 \times 10^0$    | 7 $6.7 \times 10^0$    | 8 $2.7 \times 10^1$    |
| 9 $1.3 \times 10^2$    | 10 $2.4 \times 10^3$   |                        |                        |

<ア～エの解答群>

- |        |          |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|----------|
| 1 1.0  | 2 2.5    | 3 50     | 4 100    | 5 250    |
| 6 300  | 7 350    | 8 400    | 9 450    | 10 500   |
| 11 800 | 12 1,000 | 13 1,300 | 14 2,500 | 15 3,000 |

<C～Eの解答群>

- |                        |                        |                        |                        |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 $1.6 \times 10^{-4}$ | 2 $1.9 \times 10^{-3}$ | 3 $7.5 \times 10^{-2}$ | 4 $3.4 \times 10^{-1}$ |
| 5 $4.2 \times 10^{-1}$ | 6 $1.8 \times 10^0$    | 7 $6.7 \times 10^0$    | 8 $2.7 \times 10^1$    |
| 9 $5.4 \times 10^1$    | 10 $1.2 \times 10^2$   | 11 $3.0 \times 10^2$   | 12 $4.6 \times 10^2$   |
| 13 $9.0 \times 10^2$   | 14 $2.4 \times 10^3$   | 15 $5.3 \times 10^3$   |                        |

II  $^{60}\text{Co}$ 密封線源 (10 GBq) を販売業者から受け入れ、照射装置に装荷する作業を検討する。

照射装置に線源を装荷する際には、作業者の過度な被ばくを避けるため、専用の詰替装置 (鉛厚さ 5 cm) を照射装置に取り付けて行うこととする。本装置は、格納した線源を遮蔽の外に出すことなく、詰替装置から照射装置に移し替えることができる。線源を格納した詰替装置を操作するため、線源から 0.5 m の位置で作業する場合、その位置における 1 時間当たりの実効線量は、 $\boxed{\text{F}}$   $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  となる。詰替装置に線源が格納された状態における詰替え操作において、作業者の外部被ばく線量を 300  $\mu\text{Sv}$  以下に抑えることを考えると、長くとも  $\boxed{\text{G}}$  分以内で作業を行う必要がある。

次に、個人線量計の着用部位の検討を行う。作業者の外部被ばくによる実効線量を評価するためには、体幹部に個人線量計を着用する。一般に男性については  $\boxed{\text{オ}}$ 、女性 (妊娠の意思のない旨を書面で申し出た者等を除く) については  $\boxed{\text{カ}}$  に個人線量計を着用し、 $\boxed{\text{H}}$  を測定する。皮膚の等価線量は、強透過性である  $\gamma$  線については、 $\boxed{\text{H}}$  を測定することで  $\boxed{\text{I}}$  の代替値とする管理が可能である。さらに、末端部 ( $\boxed{\text{キ}}$  など) が体幹部より多く放射線を受けるおそれがある場合は、末端部にも個人線量計を着用する。末端部において測定すべき量は、 $\boxed{\text{I}}$  である。

<F の解答群>

- |   |                   |   |                   |   |                   |   |                   |
|---|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|
| 1 | $3.2 \times 10^0$ | 2 | $6.0 \times 10^1$ | 3 | $2.6 \times 10^2$ | 4 | $1.1 \times 10^3$ |
| 5 | $3.1 \times 10^3$ |   |                   |   |                   |   |                   |

<G の解答群>

- |   |    |   |    |   |    |   |    |    |    |
|---|----|---|----|---|----|---|----|----|----|
| 1 | 2  | 2 | 3  | 3 | 5  | 4 | 6  | 5  | 8  |
| 6 | 10 | 7 | 16 | 8 | 20 | 9 | 25 | 10 | 30 |

<オ～キの解答群>

- |   |    |   |     |   |    |   |    |   |     |
|---|----|---|-----|---|----|---|----|---|-----|
| 1 | 頭部 | 2 | 頸部  | 3 | 胸部 | 4 | 手部 | 5 | 上腕部 |
| 6 | 腹部 | 7 | 大腿部 |   |    |   |    |   |     |

<H、I の解答群>

- |   |           |   |           |   |                       |
|---|-----------|---|-----------|---|-----------------------|
| 1 | 1 cm 線量当量 | 2 | 3 mm 線量当量 | 3 | 70 $\mu\text{m}$ 線量当量 |
|---|-----------|---|-----------|---|-----------------------|

Ⅲ  $^{60}\text{Co}$ 密封線源 (10 GBq) を事業所外において運搬することを考える。

線源を専用の詰替装置 (鉛厚さ 5 cm) に格納し、詰替装置ごと輸送容器に収納する。線源から輸送容器表面までの距離が 50 cmであったとき、輸送容器表面の 1 時間当たりの実効線量は、輸送容器による遮蔽を無視すると  $\boxed{\text{F}}$   $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  となる。ここでは、この値を 1 cm線量当量率とみなす。この輸送容器をA型輸送物として運搬する場合、輸送物表面における 1 cm線量当量率は  $\boxed{\text{J}}$   $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  以下でなければならないが、その条件は満たす。一方、輸送物表面から 1 mの地点の 1 cm線量当量率は  $\boxed{\text{K}}$   $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  以下でなければならないが、このままではその条件を満たさない。詰替装置と輸送容器の間に鉛 5 cmの遮蔽を追加すれば、1 時間当たりの実効線量は、 $\boxed{\text{L}}$   $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  となり条件を満たす。

この条件で遮蔽を施した後、 $\gamma$ 線用 1 cm線量当量率サーベイメータを用いて輸送物表面から 1 mの地点における線量率を測定したところ、最大値は  $\boxed{\text{L}}$   $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  の 1.2 倍の値であった。この場合、輸送指数TIは  $\boxed{\text{M}}$  となるため、輸送物表面には“第二類黄標識”を表示する必要がある。

< J、Kの解答群 >

- |   |     |   |     |   |       |   |       |    |       |
|---|-----|---|-----|---|-------|---|-------|----|-------|
| 1 | 1   | 2 | 2.5 | 3 | 5     | 4 | 15    | 5  | 50    |
| 6 | 100 | 7 | 500 | 8 | 1,000 | 9 | 2,000 | 10 | 5,000 |

< Lの解答群 >

- |   |                     |   |                  |   |                  |   |                  |
|---|---------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|
| 1 | $3.6\times 10^{-1}$ | 2 | $3.4\times 10^0$ | 3 | $6.7\times 10^0$ | 4 | $1.5\times 10^1$ |
| 5 | $1.2\times 10^2$    |   |                  |   |                  |   |                  |

< Mの解答群 >

- |   |      |   |                 |   |               |   |         |
|---|------|---|-----------------|---|---------------|---|---------|
| 1 | TI=0 | 2 | $0.05<TI\leq 1$ | 3 | $1<TI\leq 10$ | 4 | $10<TI$ |
|---|------|---|-----------------|---|---------------|---|---------|

問4 電離箱による照射線量(率)測定及び電離箱式サーベイメータに関する次のI、II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 空气中(湿度0%)のある点に、微小領域を想定する。この点における照射線量とは、[A]の照射により、その微小領域内部で発生する全ての二次電子(陽電子を含む)が、空气中で止まるまでに生成する正負いずれか一方の電荷(以下、単に電荷という。)の全てを、その微小領域の空気中の[B]で除した値である。空気を検出気体として用いた電離箱では、照射線量の良い近似値を測定することができる。

電離箱の有感領域で発生した二次電子の一部は、有感領域の外へ飛び出し、有感領域の外で[C]を作る。このようにして有感領域の外に生じた電荷が、領域外で発生する二次電子により領域内で作られる[C]の電荷で補償されるとき、照射線量の測定が可能となる。照射線量の測定を目的とした電離箱(以下、単に電離箱線量計という。)では、壁の主材に、[D]などの[E]の物質を用いることにより、壁の中で発生する二次電子により電荷の補償が行われるように工夫されている。

容積 $1,000\text{ cm}^3$ の電離箱線量計に放射線を照射したところ $10\text{ pA}$ の電流が得られたとする。このとき、単位時間当たりに発生している電荷は、[ア]  $\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ と計算されるので、電離箱線量計の置かれている場所の照射線量率は、空気の密度を $0.0012\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ とすると、[イ]  $\text{C}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ と算出される。

電離箱線量計により、照射線量率 $X[\text{C}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}]$ が得られたとき、その場所における空気吸収線量率 $D[\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}]$ は、次のようにして計算することができる。

$$D = \frac{\text{単位時間当たりの [C] 生成数} \times \text{空気の [F]} \times 1.602 \times 10^{-19}}{\text{電離箱内の空気の [G]}} \quad (1)$$

$$X = \frac{\text{単位時間当たりの [C] 生成数} \times \text{[H]}}{\text{電離箱内の空気の [G]}} \quad (2)$$

(1)、(2)式より、 $D$ と $X$ を関係付ける(3)式が導出される。

$$D = X \times \frac{\text{空気の [F]} \times 1.602 \times 10^{-19}}{\text{[H]}} \quad (3)$$

(1)及び(3)式の中の  $1.602 \times 10^{-19}$  は、エネルギーの単位を換算するための定数[ウ]である。

(3)式から分かるように、 $D$ の数值は、 $X$ の数值におおよそ[エ]を乗じた値となる。

<A、Bの解答群>

- |              |      |         |
|--------------|------|---------|
| 1 全ての種類の荷電粒子 | 2 光子 | 3 中性子   |
| 4 全ての種類の放射線  | 5 圧力 | 6 質量    |
| 7 体積         | 8 密度 | 9 質量阻止能 |

<Cの解答群>

- |           |              |           |
|-----------|--------------|-----------|
| 1 制動放射線   | 2 $\delta$ 線 | 3 フリーラジカル |
| 4 電子-陽電子対 | 5 電子-イオン対    | 6 電子-正孔対  |

<D、Eの解答群>

- |          |          |       |       |
|----------|----------|-------|-------|
| 1 アクリル樹脂 | 2 タングステン | 3 黄銅  | 4 鉛   |
| 5 空気等価   | 6 高原子番号  | 7 高密度 | 8 絶縁性 |

<ア、イの解答群>

- |                        |                        |                        |                        |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 $7.2 \times 10^{-9}$ | 2 $3.6 \times 10^{-8}$ | 3 $6.0 \times 10^{-7}$ | 4 $1.2 \times 10^{-6}$ |
| 5 $3.0 \times 10^{-5}$ | 6 $7.2 \times 10^{-4}$ | 7 $3.6 \times 10^{-3}$ | 8 $6.0 \times 10^{-2}$ |
| 9 $1.2 \times 10^{-1}$ | 10 3.0                 |                        |                        |

<F～Hの解答群>

- |        |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|
| 1 質量   | 2 体積     | 3 密度     | 4 圧力     |
| 5 W値   | 6 実効原子番号 | 7 質量減弱係数 | 8 質量阻止能  |
| 9 電気素量 | 10 線量係数  | 11 移動度   | 12 平均分子量 |

<ウの解答群>

- |                                    |                                   |                                    |                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 $\text{eV} \cdot \text{Gy}^{-1}$ | 2 $\text{eV} \cdot \text{J}^{-1}$ | 3 $\text{Gy} \cdot \text{eV}^{-1}$ | 4 $\text{J} \cdot \text{eV}^{-1}$ |
| 5 $\text{J} \cdot \text{Gy}^{-1}$  |                                   |                                    |                                   |

<エの解答群>

- |                        |                        |        |      |
|------------------------|------------------------|--------|------|
| 1 $1.3 \times 10^{-5}$ | 2 $6.0 \times 10^{-3}$ | 3 0.16 | 4 34 |
| 5 980                  |                        |        |      |

II 放射線施設の管理に用いられるサーベイメータの一つに、電離箱式サーベイメータがある。このサーベイメータは、方向特性と  に優れており、散乱線の多い場所での使用に適している。また、通常、線量率に加え、 を測定する機能が備わっており、X線撮影のように、放射線が瞬時的にしか出ない場合にも使用できる。

電離箱式サーベイメータの多くは、 (率) の値が表示されるように校正されている。

(率) は、同じ場所の空気吸収線量 (率) よりも一般的に大きく、線源が  $^{137}\text{Cs}$  の場合、その比は約  である。

電離箱式サーベイメータには、検出部の先端に着脱できるカバー (キャップ) が付属している機種が多い。通常はキャップを付けたまま使用するが、 を検知するときにはキャップをはずす。また、線量率が増加した場合、しばらく待ってから数値を読み取る必要があるが、その時間は、アナログ表示の機器の場合、出力回路の静電容量と並列抵抗の  で与えられる  に関する。サーベイメータを  秒で使用しているとき、線量率が 0 からある値に変化したとする。

線量率が増加してから  $t$  秒後の指示値は、飽和指示値の  倍となる。

<I、Jの解答群>

- |           |          |        |           |
|-----------|----------|--------|-----------|
| 1 エネルギー特性 | 2 感度     | 3 分解能  | 4 SN比     |
| 5 計数率     | 6 ピーク線量率 | 7 積算線量 | 8 パルス波高分布 |

<Kの解答群>

- |         |        |             |           |
|---------|--------|-------------|-----------|
| 1 空気カーマ | 2 実効線量 | 3 1 cm 線量当量 | 4 方向性線量当量 |
|---------|--------|-------------|-----------|

<オの解答群>

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 1.2 | 2 2.2 | 3 3.2 | 4 4.2 | 5 5.2 |
|-------|-------|-------|-------|-------|

<L~Nの解答群>

- |              |             |                         |         |
|--------------|-------------|-------------------------|---------|
| 1 $\alpha$ 線 | 2 $\beta$ 線 | 3 $\alpha$ 線と $\beta$ 線 | 4 熱中性子  |
| 5 和          | 6 差         | 7 積                     | 8 商     |
| 9 回復時間       | 10 時定数      | 11 遅延時間                 | 12 分解時間 |

<Oの解答群>

- |                        |                           |                            |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 $1 - \exp(-t/\tau)$  | 2 $\exp(-t/\tau)$         | 3 $1 - \exp(-0.693t/\tau)$ |
| 4 $\exp(-0.693t/\tau)$ | 5 $1 - \exp(0.693t/\tau)$ | 6 $\exp(t/\tau)$           |

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

Ⅰ ある微小な球体に入射した光子の数を、その球の大円の断面積で除したものをフルエンスという。また、光子の□A□の平均値とフルエンスの積をエネルギーフルエンスという。

よくコリメートされた単色の光子束(フルエンス $\phi$ )が、遮蔽板へ垂直に入射する場合を考える。ここで、遮蔽板が十分に薄い(厚さ $dx$ [m])とき、光子と物質の相互作用によるフルエンスの減少は、

$$-d\phi = \mu\phi dx \quad (1)$$

と表わされる。ここで、 $\mu$ は相互作用の起こりやすさを表す係数で□B□と呼ばれる。つまり、遮蔽板を $\mu^{-1}$ の距離(□C□と呼ばれる)だけ通過するごとに、通過光子数は□ア□となる。また、 $\mu$ を物質の密度で割った値は□D□ $\mu_m$ と呼ばれ、物質に固有な値である。

一方、エネルギーフルエンス $\phi_E$ の減少も、同様に、

$$-d\phi_E = \mu_E\phi_E dx \quad (2)$$

と表わされ、係数 $\mu_E$ は□E□と呼ばれる。光子と物質の相互作用により、光子の全エネルギーが物質に与えられれば $\mu = \mu_E$ となるが、実際には光電効果に付随して発生する□F□やコンプトン散乱による散乱光子、あるいは電子対生成に引き続き発生する□G□が物質外にエネルギーを持ち去るため、 $\mu > \mu_E$ となる。

<A～Eの解答群>

- |               |                 |           |
|---------------|-----------------|-----------|
| 1 幾何学的効率      | 2 エネルギー         | 3 空気カーマ   |
| 4 質量エネルギー吸収係数 | 5 質量減弱係数        | 6 衝突阻止能   |
| 7 線エネルギー吸収係数  | 8 線エネルギー付与(LET) | 9 線減弱係数   |
| 10 線質係数       | 11 線阻止能         | 12 線量当量   |
| 13 半価層        | 14 飛程           | 15 平均自由行程 |

<アの解答群>

- |                  |                   |                 |                 |
|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| 1 $\frac{1}{10}$ | 2 $\frac{1}{\pi}$ | 3 $\frac{1}{e}$ | 4 $\frac{1}{2}$ |
|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|

<F、Gの解答群>

- |          |              |            |
|----------|--------------|------------|
| 1 オージェ電子 | 2 コンプトン電子    | 3 質量       |
| 4 消滅放射線  | 5 シンチレーション光子 | 6 チェレンコフ光子 |
| 7 特性X線   | 8 内部転換電子     | 9 熱中性子     |
| 10 陽子    |              |            |

II   $\mu_m$ と光子エネルギーの関係を見てみると、中間的なエネルギー領域（約1~3 MeV）の光子と物質の相互作用では、ほとんどの物質において、 $\mu_m$ への寄与が最も大きいのはである。また、これよりも高いエネルギー領域では次第に $\mu_m$ に対するの寄与が増大し、逆に、これよりも低いエネルギー領域では次第にの寄与が増大する。

次に、 $\mu_m$ と原子番号 $Z$ の関係を見てみると、では $Z$ のおおよそ乗に、では $Z$ のおおよそ乗に、おおよびでは $Z$ のおおよそ乗に、それぞれ比例することが知られている。

<H~Jの解答群>

- |             |           |           |
|-------------|-----------|-----------|
| 1 核異性体転移    | 2 軌道電子捕獲  | 3 後方散乱    |
| 4 光電効果      | 5 コンプトン散乱 | 6 質量欠損    |
| 7 電子対生成     | 8 トンネル効果  | 9 放射化     |
| 10 ラザフォード散乱 | 11 ラマン散乱  | 12 レイリー散乱 |

<イ、ウの解答群>

- |     |       |     |     |     |
|-----|-------|-----|-----|-----|
| 1 0 | 2 0.5 | 3 1 | 4 2 | 5 3 |
| 6 4 |       |     |     |     |

<エの解答群>

- |     |         |           |       |       |
|-----|---------|-----------|-------|-------|
| 1 0 | 2 0.5~1 | 3 1.5~2.5 | 4 3~4 | 5 5~7 |
|-----|---------|-----------|-------|-------|

III 次に、遮蔽板が存在しない場合の、 $\gamma$ 線源からの距離と光子フルエンスの関係について考えてみよう。なお、空気の影響は無視できるものとする。また、各線源からは1壊変ごとに $\gamma$ 線が1本だけ放射される。

はじめに、放射能  $A$  [Bq]の点線源について、図1のように、この点線源を中心とする半径  $R_a$  [m]の球を考えると、この球面における単位時間・単位面積当たりの $\gamma$ 線通過本数、すなわち光子フルエンス率は  $\times A$  である。つまり、点線源による光子フルエンス率は点線源からの距離の乗に比例する。

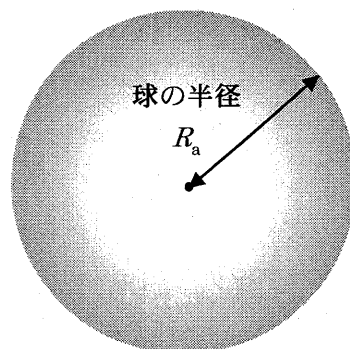


図1 点線源



次に、単位長さ当たりの放射能が  $B[\text{Bq}\cdot\text{m}^{-1}]$  の十分に長い線線源について、図2のように、線線源の周りに半径  $R_b[\text{m}]$ 、高さ  $L_b[\text{m}]$  の円柱 ( $L_b$  は線線源よりも十分に短い) を考える。この円柱内部の放射能は  $BL_b[\text{Bq}]$  である。ここで、線線源が十分に長いことから、円柱の底面 (上底面と下底面) から出入りする  $\gamma$  線の本数は相殺する (差し引き0本) と考えられるので、この円柱側面における光子フルエンス率は  $\boxed{\text{L}} \times B$  である。つまり、十分に長い線線源による光子フルエンス率は線線源からの距離の  $\boxed{\text{カ}}$  乗に比例する。

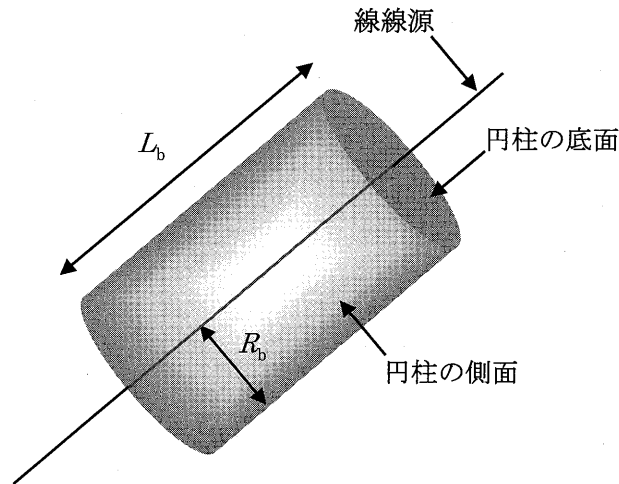


図2 線線源

最後に、単位面積当たりの放射能が  $C[\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}]$  の十分に広い面線源について、図3のように、面線源の表面上に一辺が  $L_c[\text{m}]$  で高さが  $R_c[\text{m}]$  の直方体 ( $L_c$  は面線源の一辺よりも十分に短い) を考える。この直方体内部の放射能は  $CL_c^2[\text{Bq}]$  である。ここで、面線源が十分に広いことから、直方体の4つの各側面から出入りする  $\gamma$  線の本数は相殺する (差し引き0本) と考えられるので、この上底面の光子フルエンス率は  $\boxed{\text{M}} \times C$  である。つまり、十分に広い面線源による光子フルエンス率は面線源からの距離の  $\boxed{\text{キ}}$  乗に比例する。この状況は、空気の影響を無視すると、平地に  $^{137}\text{Cs}$  が均等に降り積もった場合などに当てはまる。

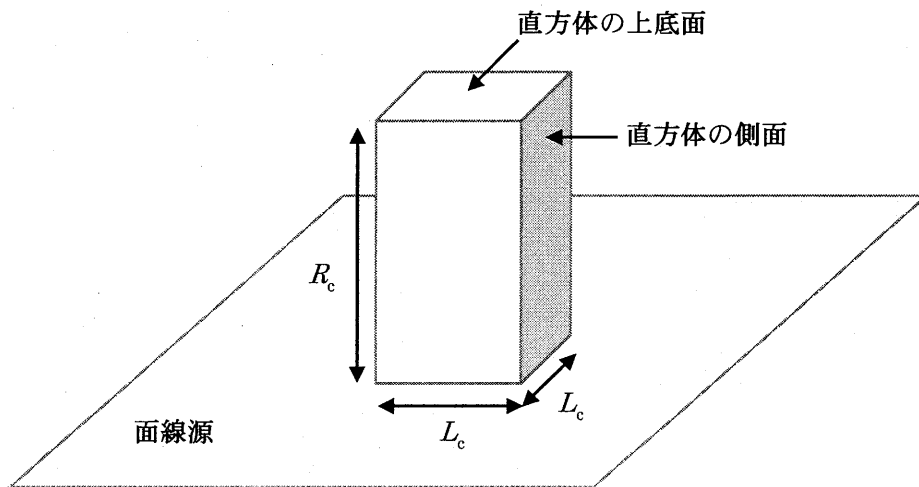


図3 面線源

<Kの解答群>

- |    |                        |    |                       |   |                     |   |                      |    |                   |
|----|------------------------|----|-----------------------|---|---------------------|---|----------------------|----|-------------------|
| 1  | $\frac{1}{4\pi R_a^2}$ | 2  | $\frac{1}{\pi R_a^2}$ | 3 | $\frac{\pi}{R_a^2}$ | 4 | $\frac{1}{4\pi R_a}$ | 5  | $\frac{\pi}{R_a}$ |
| 6  | $\frac{4\pi}{R_a}$     | 7  | $\frac{R_a}{\pi}$     | 8 | $\pi R_a$           | 9 | $4\pi R_a$           | 10 | $\frac{1}{4\pi}$  |
| 11 | $\frac{1}{\pi}$        | 12 | $4\pi$                |   |                     |   |                      |    |                   |

<オ～キの解答群>

- |   |    |   |    |   |                |   |   |   |               |
|---|----|---|----|---|----------------|---|---|---|---------------|
| 1 | -2 | 2 | -1 | 3 | $-\frac{1}{2}$ | 4 | 0 | 5 | $\frac{1}{2}$ |
| 6 | 1  | 7 | 2  |   |                |   |   |   |               |

<Lの解答群>

- |    |                        |    |                       |   |                     |   |                      |    |                   |
|----|------------------------|----|-----------------------|---|---------------------|---|----------------------|----|-------------------|
| 1  | $\frac{1}{2\pi R_b^2}$ | 2  | $\frac{1}{\pi R_b^2}$ | 3 | $\frac{\pi}{R_b^2}$ | 4 | $\frac{1}{2\pi R_b}$ | 5  | $\frac{\pi}{R_b}$ |
| 6  | $\frac{2\pi}{R_b}$     | 7  | $\frac{R_b}{\pi}$     | 8 | $\pi R_b$           | 9 | $2\pi R_b$           | 10 | $\frac{1}{2\pi}$  |
| 11 | $\frac{1}{\pi}$        | 12 | $2\pi$                |   |                     |   |                      |    |                   |

<Mの解答群>

- |    |                    |    |                       |   |                     |   |                  |    |                   |
|----|--------------------|----|-----------------------|---|---------------------|---|------------------|----|-------------------|
| 1  | $\frac{1}{2R_c^2}$ | 2  | $\frac{1}{\pi R_c^2}$ | 3 | $\frac{\pi}{R_c^2}$ | 4 | $\frac{1}{2R_c}$ | 5  | $\frac{\pi}{R_c}$ |
| 6  | $\frac{2}{R_c}$    | 7  | $\frac{R_c}{\pi}$     | 8 | $\pi R_c$           | 9 | $2R_c$           | 10 | $\frac{1}{2}$     |
| 11 | $\frac{1}{\pi}$    | 12 | 2                     |   |                     |   |                  |    |                   |



