

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 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。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 生体が放射線の被ばくを受けると、初期過程では、放射線のエネルギー付与によって生体を構成する原子・分子の電離と励起が起きる。このような電離と励起が標的分子である DNA を構成する原子に起き、DNA の損傷を引き起こす効果を放射線の□Aという。これに対して、生体の70～80%を占めるといわれる水分子が電離・励起されることにより、反応活性に富むフリーラジカルが生成され、これが DNA の損傷を引き起こす効果を放射線の□Bという。一般に、両者を比較するとエックス線やガンマ線のような低LET放射線被ばくによる DNA 損傷の生成には□Cの方が大きく寄与すると考えられている。

DNA はヌクレオチドがつながった2本の鎖がらせん状に並んだ分子であり、4種の塩基のうちアデニンとチミン、グアニンとシトシンがそれぞれ選択的な対を形成して水素結合している。電離放射線によって引き起こされる主な DNA 損傷には、塩基損傷、□D、2本鎖切断があり、この他まれであるが DNA 塩基間の共有結合による□Eなどが起こる。また、DNA 塩基とタンパク質のアミノ酸との間にも□Eが生じることがある。

生体にはこれらの DNA 損傷を修復する機構が備わっており、例えば、単一の塩基損傷を修復する塩基除去修復、塩基損傷を含むオリゴヌクレオチドを除くヌクレオチド除去修復がある。DNA 鎖切断のうちでも、修復しにくいといわれる2本鎖切断に対しては、相同組換えと□Fによる修復機構があるが、前者に比べて後者では、修復のエラーが起きやすい。

<A～Cの解答群>

- | | | | |
|---------|--------|--------|---------|
| 1 賦活化作用 | 2 直接作用 | 3 拮抗作用 | 4 不活化作用 |
| 5 間接作用 | 6 付加作用 | 7 相加作用 | 8 相乗作用 |

<D～Fの解答群>

- | | | |
|----------|-------------|-----------|
| 1 リン酸結合 | 2 リボース結合 | 3 1本鎖切断 |
| 4 塩基置換 | 5 ピリミジンダイマー | 6 架橋形成 |
| 7 SOS 応答 | 8 伸長反応 | 9 非相同末端結合 |

II DNA 損傷が修復されずに細胞に残り、損傷が致命的な場合には細胞死が起きる。細胞は、分裂期 (M 期) → DNA 合成準備期 (G₁ 期) → DNA 合成期 (S 期) → 分裂準備期 (G₂ 期) → 分裂期 (M 期) という細胞周期に従って分裂を繰り返す。放射線による細胞死の起こりやすさ (放射線致死感受性) は、この細胞周期の時期によって異なる。M 期にある細胞に放射線を照射した場合は、放射線致死感受性が が、S 後期から G₂ 期にかけての細胞に放射線を照射した場合には、放射線致死感受性が 。

DNA 損傷が致命的でない場合には、損傷を持ったまま細胞分裂が行われ、遺伝子 や染色体異常を持った細胞が出現しやすくなる。放射線による染色体異常は DNA の 2 本鎖切断が修復されなかったり、誤って再結合されることなどによって生じる構造異常であり、数の異常は起こりにくい。染色体異常のうち、 染色体及び環状染色体は細胞分裂の際にうまく両極に分かれることができないために、比較的早期に消失するので 染色体異常という。一方、欠失、逆位、転座などは、細胞分裂が繰り返されても異常がそのまま次世代の細胞に引き継がれ長期にわたって維持されるので 染色体異常という。これらの特徴をもった染色体異常の発生頻度は、被ばく事故時における末梢血 等を用いた生物学的線量評価の指標となる。

<G、Hの解答群>

- | | | |
|------|------|---------|
| 1 高い | 2 低い | 3 変わらない |
|------|------|---------|

<I～Mの解答群>

- | | | | |
|--------|---------|---------|---------|
| 1 刷り込み | 2 突然変異 | 3 乗り越え | 4 接合体 |
| 5 付加体 | 6 二動原体 | 7 急性型 | 8 慢性型 |
| 9 安定型 | 10 不安定型 | 11 リンパ球 | 12 血漿成分 |
| 13 血小板 | | | |

Ⅲ 人体には、骨髓、脾臓、胸腺、小腸、皮膚、生殖腺、水晶体など、幹細胞が盛んに分裂することにより絶えず新しい細胞が供給されている [N] 組織があり、いずれも放射線感受性が高いことが知られている。皮膚は、表皮、真皮、皮下組織で構成され、毛嚢、汗腺、皮脂腺や血管などを含む。表皮の最下層には幹細胞である [O] の層があり、放射線感受性が高い。表皮表面から [O] 層までの平均の深さは [P] 程度とされ、個人被ばく線量測定に用いられる線量当量はこの深さに対応している。また、真皮内にある毛嚢にも幹細胞があり、放射線感受性が高く、被ばくによる脱毛の原因となる。

放射線被ばくで起きる皮膚の早期影響は、被ばく線量が増すと、潜伏期が短くなり、症状の重篤度が増す。ガンマ線急性被ばくでは、3~6 Gy 程度で 2~3 週間後位から脱毛と [Q] が、7~8 Gy 程度では 1~2 週間後位で [R] が、10 Gy 以上では 1 週間後位で糜爛や潰瘍が、20 Gy 以上では数日後位から難治性潰瘍や壊死等が生じる。

母体が妊娠中に放射線被ばくすると胎児も被ばくする可能性がある。胎児は胎内で絶えず成長・発達しているため、放射線感受性が極めて高い。胎児に現れる放射線影響の種類は、被ばく時の胎児の発生・発達段階によって異なる（時期特異性）。受精卵（胚）が子宮に着床するまでの着床前期の被ばくでは胚死亡（流産）が起きる。着床期に続く器官形成期の被ばくでは様々な組織・臓器の [S] を生じることがマウス等を用いた動物実験で知られているが、ヒトでは小頭症のみが確認されている。胎児期に入ってから被ばくでは [T] が起きることが原爆被爆者の調査で確認されており、胎児期全体を通じての被ばくでは発育遅延も認められている。また、受精から出生までの胎生期全体を通じての被ばくにより、がんと遺伝性(的)影響が発生する可能性があるといわれている。

<N~Pの解答群>

- | | | | |
|---------|---------|----------|---------|
| 1 細胞再生系 | 2 細胞定常系 | 3 細胞休止系 | 4 角質細胞 |
| 5 基底細胞 | 6 有棘細胞 | 7 100 nm | 8 70 μm |
| 9 1 cm | | | |

<Q、Rの解答群>

- | | | | |
|------|------|------|------|
| 1 白斑 | 2 紅斑 | 3 黄斑 | 4 白癬 |
| 5 水疱 | | | |

<S、Tの解答群>

- | | | | |
|----------|---------|--------|------|
| 1 奇形 | 2 多臓器不全 | 3 機能障害 | 4 癩癧 |
| 5 色素性乾皮症 | 6 精神遅滞 | | |

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

Ⅰ 10 Gy の γ 線全身被ばくでは、多くの場合、死に至るが、その際にヒトが受け取るエネルギー量を計算することができる。被ばくしたヒトの体重を 70 kg とすると、吸収線量の定義から□A□となる。このエネルギーによる体温の上昇は、人体の比熱が水と同じと考えると□B□ $^{\circ}\text{C}$ に過ぎない。放射線の生物への作用に必要なエネルギーは加熱殺菌に必要なエネルギーに比べると非常に少ないことがわかる。この特徴を以下のように理解することができる。

γ 線は光子であるとともに電磁波でもある。可視光も電磁波であるが、両者の違いは光子1個が持つエネルギーの大きさである。波長 620 nm の赤色光の光子のエネルギーは 2 eV なのに対して、 ^{137}Cs 線源からの γ 線 (0.66 MeV) の波長は□C□ nm と計算できる。可視光領域の光子のエネルギーでは、生体を構成する有機分子の共有結合を切ることはできないが、この γ 線光子のエネルギーは生体分子に損傷を与えるのに十分なエネルギーを持つ。0.66 MeV の γ 線が物質に入射すると□D□及び□E□により、二次電子を生成する。□D□によって発生する電子は最大エネルギー□F□ MeV の広いエネルギー分布を持つ一方で、□E□によって生成する電子は、入射 γ 線のエネルギーから物質中で原子核に束縛されていたときの結合エネルギーを減じたエネルギーを持つ。

これらの二次電子は物質中の電子とクーロン力によって相互作用し、その結果、物質中の電子にエネルギーを付与することによって徐々にエネルギーを失っていく。このような相互作用のイベントの数は、電子を発生させた□D□及び□E□の現象数に比べて圧倒的に多い。この相互作用のイベントが起きる間隔は、物質に入射した直後に比べて止まる直前の方が短くなる。電子は相互作用により進行方向を変えられるので、飛跡は直線的とはならないが、陽子やそれより重い荷電粒子では電子との相互作用によっても方向を変えられることが少ないので、飛跡は直線的となる。

電子を含む荷電粒子の物質中の飛跡の単位長さ当たりのエネルギー損失 ($-dE/dx$) は荷電粒子による物質へのエネルギー付与の分布を特徴づける重要なパラメータである。エネルギー損失は入射粒子のエネルギーに□G□。放射線の線質を特徴づけるパラメータとして□H□があるが、相互作用によりさらに発生する二次電子のエネルギーに制限を付けない場合には先のエネルギー損失 ($-dE/dx$) と同じである。荷電粒子によるエネルギー付与現象は飛跡に沿って起きるので空間的にランダムに分布しているわけではない。飛跡に起因するエネルギー付与現象の空間分布は□I□と呼ばれる。DNA に生成する損傷の中でも、修復されにくいために多くの生物影響を引き起こすとされる□J□の生成効率は□I□に依存するので、その理解は重要である。

<Aの解答群>

- | | | | | | |
|---|----|---|-----|---|-------|
| 1 | 70 | 2 | 700 | 3 | 7,000 |
|---|----|---|-----|---|-------|

<B、Cの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|
| 1 | 0.0005 | 2 | 0.0010 | 3 | 0.0014 | 4 | 0.0019 |
| 5 | 0.0024 | 6 | 0.0030 | 7 | 0.0036 | 8 | 0.0042 |

<D、Eの解答群>

- | | | | |
|--------|----------|-----------|---------|
| 1 制動放射 | 2 トムソン散乱 | 3 コンプトン散乱 | 4 電子対生成 |
| 5 内部転換 | 6 光電効果 | | |

<Fの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 0.24 | 2 0.33 | 3 0.48 | 4 0.66 |
|--------|--------|--------|--------|

<G～Jの解答群>

- | | | |
|------------------|---------------|---------|
| 1 比例する | 2 反比例する | 3 依存しない |
| 4 線エネルギー付与 (LET) | 5 生物効果比 (RBE) | 6 電子構造 |
| 7 結晶構造 | 8 トラック構造 | 9 塩基損傷 |
| 10 クラスタ損傷 | | |

II γ 線を検出するには、設定した相互作用領域における γ 線及び二次荷電粒子による電離現象が利用される。空気等価の材質で作られた壁で区画された領域内の空気中で生成するイオン対を電場をかけて捕集し、その電荷を計測する検出器を **K** という。生成した電荷量を領域内の空気の質量で除したものを照射線量と呼び、単位は $C \cdot kg^{-1}$ となる。この領域内で生成したイオン対の数に空気中でイオン対生成に必要なエネルギー (W 値) を乗じ、領域内の空気の質量で除したものは、空気の吸収線量となり、単位は $J \cdot kg^{-1}$ (=Gy) である。電離体積 100 mL の **K** で毎分 10 Gy の放射線によって生成する電流は、空気密度 ($1.29 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)、W 値 (34 eV) を用いて、**L** A と計算できる。この **K** では、環境放射線のような毎時 0.05 μGy という低線量率になると得られる電流は、**M** A と極めて小さくなる。相互作用領域を大きくすると得られる電流が大きくなるので感度は上がるが、サイズが大きくなるのでサーベイメータとしての実用性は下がる。また、大きな体積中で生成したイオンの捕集効率等を考慮した構造設計が必要となる。

上記の測定で得られる吸収線量は空気の吸収線量であり、生体等の吸収線量ではない。同じ放射線場における空気以外の物質での吸収線量は、対象物を構成する元素に対する入射光子の **N** をそれぞれの元素の存在比で加重平均を取った値を空気の **N** と比較することによって得られる。

より感度よく放射線及びそれによる二次電子を検出するには、気体中で生成した電子を増幅して集める方法がある。電離箱の陽極を細い心線とし、そこに印加する電圧を高くすると陽極に引きつけられる電子が加速されて、他の気体分子を電離するようになり、陽極に集まる電子の数を増やすことになる。これを **O** といい、これによって発生する電流パルスから放射線を検出することができる。電圧を高くしていくと、増幅されたパルスの高さが最初に発生した電子-イオン対数と比例する領域が見られるが、さらに電圧を高くするとパルス高は最初の電子-イオン対数とは関わりがない領域が現れる。この領域では、ディスクリミネータ (波高弁別器) によってノイズを除去されたパルスの計数率は電圧にほとんど依存しない。**P** はこの状態で発生するパルスから放射線を検出する測定器である。**P** では同一の入射光子によって複数の電子が発生しても 1 個と計数す

るので、パルス数は電離体積内を通過した入射光子の数を計測したことになる。計数値は電離体積内に付与されたエネルギー量を示していることにはならないので、Pの計数値から放射線量を得るには、標準放射線場での校正が必要となる。市販のP式サーベイメータの多くは、 ^{60}Co 線源又は ^{137}Cs 線源からの γ 線を用いて校正されているので、それ以外の γ 線を計数した場合の表示値は正しい値ではないことを理解しておく必要がある。放射線が計数管を通過する確率は全くランダムであり、時間当たりの計数値はQに従う。そのために、得られた線量率の相対誤差は計測したパルス数の平方根にRので、単位時間当たりのパルス数の少ない低線量域で精度よく計数するには、計数時間を長くして積分することが必要になる。

<Kの解答群>

- | | | | |
|-------|-------|-----------|----------|
| 1 空洞箱 | 2 電離箱 | 3 ポケット線量計 | 4 レムカウンタ |
|-------|-------|-----------|----------|

<L、Mの解答群>

- | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 5.3×10^{-17} | 2 6.3×10^{-16} | 3 5.3×10^{-15} | 4 6.3×10^{-13} |
| 5 5.3×10^{-9} | 6 6.3×10^{-7} | 7 5.3×10^{-6} | 8 6.3×10^{-5} |

<Nの解答群>

- | | | |
|---------------|---------|--------------|
| 1 線減弱係数 | 2 線吸収係数 | 3 線エネルギー吸収係数 |
| 4 質量エネルギー吸収係数 | | |

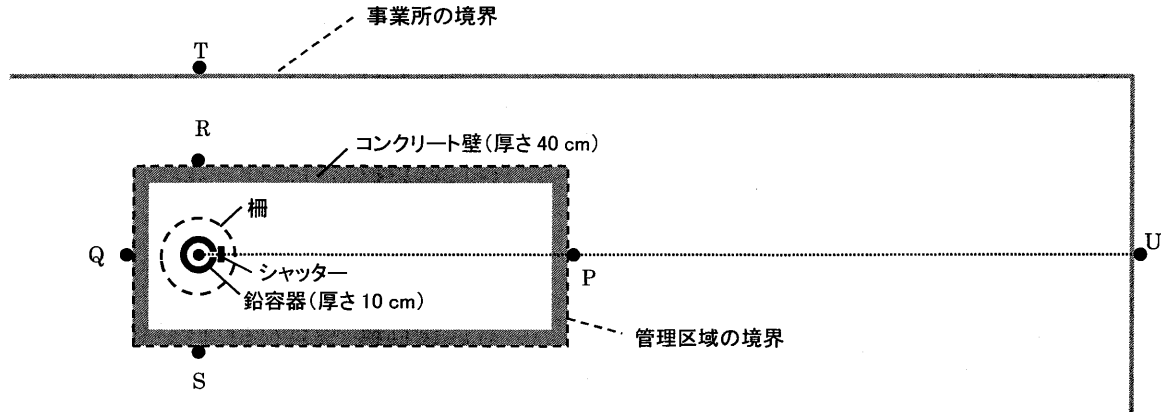
<O、Pの解答群>

- | | | |
|--------------|----------|---------|
| 1 固体増幅 | 2 液体増幅 | 3 ガス増幅 |
| 4 シンチレーション増幅 | 5 GM 計数管 | 6 比例計数管 |
| 7 光電子増倍管 | | |

<Q、Rの解答群>

- | | | | |
|---------|----------|-------|--------|
| 1 ガンマ分布 | 2 ポアソン分布 | 3 F分布 | 4 比例する |
| 5 反比例する | | | |

問3 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。



ある事業所では、コンクリート壁（厚さ 40 cm）で囲まれた γ 線照射施設において、 ^{60}Co 密封線源（60 GBq）1 個のみを装備した照射装置を使用している。

γ 線照射施設の管理区域の境界はコンクリート外壁面とし、その外壁面上の点 P、Q、R、S は線源からそれぞれ 18 m、3 m、4 m、4 m 離れている。また、事業所の境界については、線源から最も近い点 T は線源から 8 m、照射方向である点 P の延長上の点 U は線源から 50 m 離れている。

密封線源はシャッター付き鉛容器（容器、シャッターともに厚さ 10 cm）に収納されており、線源周辺には、人が立ち入ることができないよう半径 2 m の柵が設けられている。

鉛容器のシャッター操作は柵外（管理区域内）から行われ、シャッターが閉じている時（線源保管時）は全方向に対して鉛 10 cm の遮蔽能力があり、また、鉛容器の照射口は点 P 方向に十分にコリメートされているものとする。なお、点 P から点 U の間には放射線をさえぎるものはなく、散乱線及びスカイシャインの影響は考えないものとする。

I この施設では、3 月間で最大 200 時間まで線源の使用が認められている。管理区域の境界における 3 月間の実効線量の最大値は mSv（点 の地点）となり、また、事業所の境界における 3 月間の実効線量の最大値は μSv （点 の地点）となる。これらの値は、法令に定める 3 月間の実効線量である mSv（管理区域の設定値）及び μSv （事業所境界の実効線量限度）を超えない。

ただし、評価時間は、管理区域の境界では 3 月間につき 500 時間、事業所の境界では 3 月間につき 2,184 時間とし、計算には下表の値を用いるものとする。

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 10 cm	コンクリート 40 cm
^{60}Co	3.1×10^{-1}	4.8×10^{-3}	6.2×10^{-2}

<A～Dの解答群>

1 0.58	2 0.72	3 0.88	4 1.0
5 1.2	6 1.3	7 5.6	8 13
9 55	10 96	11 190	12 230
13 250	14 450	15 500	

<ア、イの解答群>

1 P	2 Q	3 R	4 S
5 T	6 U		

II 照射する放射線量は、線源から照射対象までの距離や照射時間を変更することで調整が可能である。たとえば、実効線量率で1時間当たり1 mSvに相当する放射線を照射したい場合、線源から m の位置に照射対象を配置すればよく、また、実効線量で10 mSvに相当する放射線を照射したい場合、線源から2 m の位置であれば 時間照射すればよい。

なお、本施設において、人が常時立ち入る場所の実効線量の最大値は1週間当たり mSv であり、法令に定める実効線量限度(1週間につき mSv) を超えない。ただし、照射時には管理区域内に立ち入ることはできるが、照射方向には人が立ち入らないものとする。また、評価地点は柵上の点とし、線源までの距離は2 m、評価時間は40時間とする。

<E～Hの解答群>

1 0.26	2 0.54	3 0.89	4 1.0
5 1.2	6 1.3	7 2.2	8 3.2
9 4.3	10 6.5	11 7.2	12 8.9
13 10	14 13	15 15	

Ⅲ この事業所では外部機関から照射の依頼が増えたため、線源の3月間における使用時間の延長を検討している。使用時間を延長する場合、点 及び点 の実効線量を再評価する必要がある。検討の結果、点 の再評価結果より、使用時間は最大で3月間当たり 時間まで延長することが可能である。

<ウ、エの解答群>

- | | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 P | 2 Q | 3 R | 4 S |
| 5 T | 6 U | | |

<Iの解答群>

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 280 | 2 320 | 3 360 | 4 400 |
| 5 440 | 6 480 | 7 500 | |

Ⅳ 次に ^{60}Co 線源について考えてみる。 ^{60}Co は、主に の中性子捕獲反応を利用して生成される。 ^{60}Co は、 年の半減期で する核種であり、 後直ちに2本の γ 線が放出され、それらのエネルギーは小さい方から MeV、 MeV である。

^{60}Co 線源は、小線源から大量線源まで幅広く利用されており、特に、 や耐放射線試験などに用いる大量線源の大半は、 ^{60}Co 線源が利用されている。

<オ～キの解答群>

- | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 ^{59}Fe | 2 ^{59}Co | 3 ^{60}Fe | 4 ^{60}Co |
| 5 ^{60}Ni | 6 ^{61}Ni | 7 α 壊変 | 8 β 壊変 |
| 9 電子捕獲 | 10 核異性体転移 | 11 放射線滅菌 | 12 非破壊検査 |
| 13 ガスクロマトグラフ | | 14 厚さ計 | |

<Jの解答群>

- | | | | |
|-------|-------|------|------|
| 1 2.6 | 2 5.3 | 3 30 | 4 74 |
| 5 430 | | | |

<K、Lの解答群>

- | | | | |
|--------|---------|--------|--------|
| 1 0.06 | 2 0.12 | 3 0.17 | 4 0.51 |
| 5 0.66 | 6 0.93 | 7 1.17 | 8 1.27 |
| 9 1.33 | 10 1.46 | | |

問4 放射性セシウム (Cs) に関する次の I ~ IV 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 Cs は A 、Rb などとともに B に属する元素であり、多くの種類の放射性同位体を持つ。その中の一つ ^{134}Cs が土壌などの環境試料に検出された場合、 ^{134}Cs は C に由来すると考えてよい。検出された ^{134}Cs が、 ^{137}Cs とは異なり、 D に由来しないと考える理由は、 ^{134}Cs の E は極めて小さく、 E の大きい親核種も存在しないが、 ^{134}Cs は、核分裂の結果として原子炉内で生じ蓄積された安定核種 ^{133}Cs が、中性子に長時間照射されて、 (n, γ) 反応により生成すると考えられるからである。このような ^{134}Cs が ^{137}Cs と混在する試料において、これら両核種の放射能を精度よく測定するのに最も適した放射線測定器は F である。

<A、Bの解答群>

- | | | |
|-------|----------|------------|
| 1 Ce | 2 Cl | 3 K |
| 4 Sr | 5 アルカリ金属 | 6 アルカリ土類金属 |
| 7 希土類 | 8 ハロゲン | |

<C~Eの解答群>

- | | | |
|-------------|-------------------------|-------------|
| 1 宇宙線による核反応 | 2 地殻中の ^{238}U | 3 原子力発電所の事故 |
| 4 核実験 | 5 中性子放射化断面積 | 6 核分裂収率 |
| 7 同位体交換反応速度 | 8 壊変定数 | |

<Fの解答群>

- | | | | |
|----------|--------------|---------|----------|
| 1 Ge 検出器 | 2 NaI(Tl)検出器 | 3 比例計数管 | 4 GM 計数管 |
|----------|--------------|---------|----------|

II ^{134}Cs (半減期：750 日) 及び ^{137}Cs (半減期：11,000 日) の地表面沈着に対し、サーベイメータを用いて、空間線量率の測定を行った。このときに測定・表示された値は 1 時間当たりの G である。光子に対するこの G の値は、防護量 (防護基準を定める量) の一つである H よりも常に大きい値となる。これら両核種の地表面沈着濃度が同じとき、 ^{134}Cs の G への寄与は、 ^{137}Cs と比べ I 。両核種の沈着濃度は時間の経過とともに変化する。沈着濃度が同じであった時点から 1 年後においては、放射能比 ($^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$) はおよそ J になる。その後もこの比は減少していくが、その比が半分になる日数は、 K で計算できる。

<G~Iの解答群>

- | | | | |
|--------|-------------------|--------|------------|
| 1 計数 | 2 3 mm 線量当量 | 3 照射線量 | 4 1cm 線量当量 |
| 5 実効線量 | 6 γ 線フルエンス | 7 小さい | 8 ほぼ同じである |
| 9 大きい | | | |

< J、Kの解答群 >

- | | | | | | |
|---|------------------------------|---|--------------|---|------------------------------|
| 1 | 0.58 | 2 | 0.62 | 3 | 0.67 |
| 4 | 0.73 | 5 | 0.80 | 6 | $\frac{1}{1/750 + 1/11,000}$ |
| 7 | $\frac{1}{1/750 - 1/11,000}$ | 8 | [11,000+750] | 9 | [11,000-750] |

Ⅲ ^{134}Cs 及び ^{137}Cs で汚染された土壌の、皮膚の一部への付着に対し、皮膚の線量評価を行った。皮膚への線量は、主に、これらの核種から放出される $\boxed{\text{L}}$ による皮膚の $\boxed{\text{M}}$ に起因する。

有効窓面積 20 cm^2 の端窓型 GM 管式サーベイメータで土壌付着部位を測定したところ、正味の計数率 $1,200\text{ cpm}$ が得られた。なお、土壌は、サーベイメータの窓面積よりも十分広い範囲に付着していた。このサーベイメータの計数効率（計数率 $[\text{s}^{-1}]$ / 放射能 $[\text{Bq}]$ ）として、両核種に対し同じ値、25%を仮定し、付着部位の放射能面密度を評価した。その結果、これら両核種合わせた放射能面密度として、 $\boxed{\text{N}}$ $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ が得られた。この値に、ICRU Report 56 に掲載されている皮膚表面からの深さ $\boxed{\text{O}}$ における吸収線量率 $[\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{cm}^2]$ と土壌が付着していた時間 $[\text{h}]$ とを乗じ、さらに $\boxed{\text{L}}$ の放射線加重係数を乗じて $\boxed{\text{O}}$ 線量当量への $\boxed{\text{L}}$ の寄与分を評価した。

< L、Mの解答群 >

- | | | | | | | | |
|---|------------|---|-----------|---|------------|---|-------|
| 1 | α 線 | 2 | β 線 | 3 | γ 線 | 4 | 中性子 |
| 5 | オージェ電子 | 6 | 内部被ばく | 7 | サブマージョン | 8 | 外部被ばく |

< Nの解答群 >

- | | | | | | | | |
|---|-----|----|-----|---|-----|---|-----|
| 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 4.0 | 4 | 6.0 |
| 5 | 9.0 | 6 | 12 | 7 | 15 | 8 | 20 |
| 9 | 30 | 10 | 50 | | | | |

< Oの解答群 >

- | | | | | | | | |
|---|------------------|---|--------|---|------|---|------|
| 1 | 70 μm | 2 | 0.4 mm | 3 | 3 mm | 4 | 1 cm |
|---|------------------|---|--------|---|------|---|------|

IV ^{134}Cs 及び ^{137}Cs で汚染された食品の摂取に対し、内部被ばく線量評価を行った。内部被ばくでは、ある適切な将来の期間に亘り、摂取された放射性物質から受けると予測される総線量、すなわち 実効線量が評価される。実効線量係数[$\text{mSv}\cdot\text{Bq}^{-1}$]の算出においては、成人に対するその期間は、摂取してから と設定されている。

ホールボディカウンタによる測定で、ある成人被検者から、 ^{134}Cs が450 Bq、 ^{137}Cs が450 Bq 検出された。線量評価の目的には、放射性 Cs の消化管吸収率は、 と仮定されている。また、消化管から体内に吸収された放射性 Cs は、 に分布し、その後、成人では、体内量の10%は生物学的半減期2日で、90%は生物学的半減期110日で減少すると仮定されている。これらの核種は、測定日の110日前の1日間で摂取されたと推定された。以上の情報に基づき、この被検者の各核種の摂取量を評価したところ、 ^{134}Cs はおおよそ1,100 Bq、 ^{137}Cs はおおよそ Bq と評価された。このようにして評価された各核種の摂取量に各々の核種に対する実効線量係数を乗じ、この食品摂取による 実効線量を評価した。

<P、Qの解答群>

- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 1 預託 | 2 積算 | 3 蓄積 | 4 生涯 |
| 5 60歳まで | 6 65歳まで | 7 70歳まで | 8 75歳まで |
| 9 10年間 | 10 20年間 | 11 30年間 | 12 50年間 |

<Rの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|--------|-------|
| 1 0.01 | 2 0.02 | 3 0.05 | 4 0.1 |
| 5 0.5 | 6 1.0 | | |

<Sの解答群>

- | | | | |
|-----------|---------|-------------------------------|-----------|
| 1 全身にほぼ均等 | 2 骨に特異的 | 3 膀胱 <small>ぼうこう</small> に特異的 | 4 甲状腺に特異的 |
|-----------|---------|-------------------------------|-----------|

<Tの解答群>

- | | | | |
|---------|----------|---------|---------|
| 1 600 | 2 700 | 3 800 | 4 900 |
| 5 1,000 | 6 1,100 | 7 1,200 | 8 1,300 |
| 9 1,400 | 10 1,500 | | |

問5 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 地球大気（海面近くの清浄な乾燥空気）の組成（体積含量%）は、割合の大きい方から順に、窒素（N₂）78.1%、酸素（O₂）21.0%、アルゴン（Ar）0.9%である。Arは地球大気で3番目に多い成分であるが、その由来について同位体に注目しながら考えてみる。

同位体とは原子核内における□A□の数が等しく、□B□の数が異なる原子のことをいう。

アルゴンの同位体のうち安定なものとして、³⁶Ar、³⁸Ar及び⁴⁰Arがある。なお、³⁸Arの原子核における□B□の数は□ア□個である。また、³⁸Arの核外電子の数は□イ□個である。

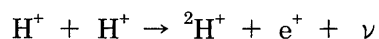
<A、Bの解答群>

- | | | | |
|-------|--------|------|-------|
| 1 中性子 | 2 中性微子 | 3 陽子 | 4 陽電子 |
| 5 電子 | 6 正孔 | | |

<ア、イの解答群>

- | | | | |
|------|------|------|------|
| 1 15 | 2 16 | 3 17 | 4 18 |
| 5 19 | 6 20 | 7 21 | 8 22 |

Ⅱ 宇宙全体におけるアルゴンの主な生成過程の一つに、恒星内元素合成がある。太陽などの恒星の中心では核融合反応により、様々な元素が生まれている。この核融合反応の第一段階は水素の原子核2個が融合して、重水素の原子核（²H）を生じる反応である。



この式で、e⁺は□C□を、νはニュートリノ（中性微子）を表す。e⁺は電子に衝突すると□D□を起こし、複数本の電磁波を発生する。この電磁波のエネルギーの総和は、□D□1事象当たり約□ウ□MeVである。

引き続き幾つかの反応過程を経て、結果的に、4個の水素原子から1個の⁴Heが生成される。更に、恒星の質量にも依存するが、複数個の⁴Heが核融合を繰り返し、⁸Be、□E□、¹⁶O、²⁰Neなどの原子核が生成する（アルファ反応）。この反応により、原子核を構成する核子の数が⁴Heの原子核を構成する核子の数の整数倍であるものは、比較的生成しやすい。

このことから、宇宙全体では、3種類のアルゴン安定同位体のうち□F□の存在比が最も大きいと予想される。実際、太陽大気における□F□の同位体存在度は84.2%である事が知られている。

<C、Dの解答群>

- | | | | |
|----------|------------|---------|---------|
| 1 中性子 | 2 陽子 | 3 陽電子 | 4 電子 |
| 5 正孔 | 6 ミュー粒子 | 7 電子対生成 | 8 電子対消滅 |
| 9 レイリー散乱 | 10 コンプトン散乱 | | |

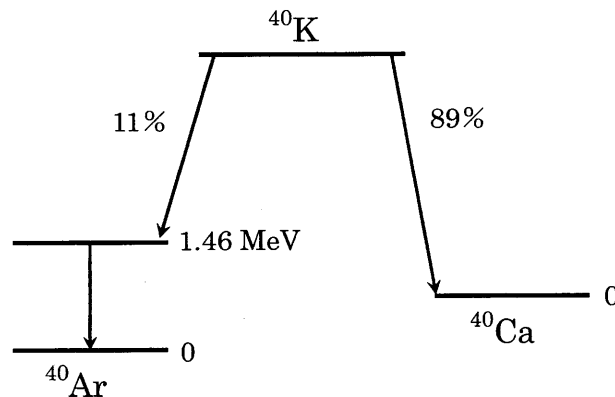
<ウの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 0.51 | 2 1.02 | 3 2.04 | 4 4.08 |
|--------|--------|--------|--------|

<E、Fの解答群>

- | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 ^{12}B | 2 ^{12}C | 3 ^{12}N | 4 ^{12}O |
| 5 ^{36}Ar | 6 ^{38}Ar | 7 ^{39}Ar | 8 ^{40}Ar |

Ⅲ 恒星内元素合成とは異なるアルゴンの主要な生成過程に、 ^{40}K の壊変がある。次の壊変図のように、 ^{40}K の壊変には により ^{40}Ca を生じる場合と、 により ^{40}Ar を生じる場合がある。



^{40}K は地球のような岩石型惑星には普遍的に存在し、半減期は約 12.5 億年である。地球が形成されたのは約 46 億年前と考えられるので、地球形成当初に存在した ^{40}K のうち % は既に壊変し、壊変した ^{40}K の % の原子数の ^{40}Ar が生じていると考えられる。つまり、現在の地球上には地球形成時に存在した ^{40}K の % の原子数の ^{40}Ar が存在すると考えられる。

なお、地球大気におけるアルゴン同位体の 99.6% は ^{40}Ar である。このことから、アルゴンが地球大気中で 3 番目に多い成分である理由は、 ^{40}K の壊変で生成した ^{40}Ar が大気圏内に蓄積された結果と考えられている。

<G、Hの解答群>

- | | | | |
|---------------|----------------|----------------|---------|
| 1 α 壊変 | 2 β^+ 壊変 | 3 β^- 壊変 | 4 EC 壊変 |
| 5 核異性体転移 | 6 内部転換 | 7 中性子捕獲 | 8 自発核分裂 |

<エ～カの解答群>

- | | | | |
|-------|------|------|------|
| 1 1.5 | 2 10 | 3 11 | 4 18 |
| 5 69 | 6 84 | 7 92 | 8 96 |

IV 現在の地球における天然の K のうち、 ^{40}K の同位体存在度を 0.012% とすると、K の重量 1 g 当りに含まれる ^{40}K の原子数は約 個であり、その放射能は約 Bq である。ただし、K の原子量を 39 とする。また ^{40}K の半減期の 12.5 億年は 3.9×10^{16} 秒とする。

また、K は生体に必要不可欠な元素であり、人体（体重 70 kg とする）にも平均で約 4,400 Bq の ^{40}K が含まれ、 に分布していることが知られている。また、このことによる年間被ばく線量の推定は mSv（国連科学委員会 2000 年報告書）と示されている。

また応用として、 ^{40}K の放射性壊変を利用した年代測定が行われており、「カリウム-アルゴン法」が を試料とする分析に用いられる。

<キの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|----------------------|---|----------------------|---|----------------------|---|----------------------|
| 1 | 1.4×10^{14} | 2 | 1.5×10^{15} | 3 | 1.6×10^{16} | 4 | 1.7×10^{17} |
| 5 | 1.8×10^{18} | 6 | 1.9×10^{19} | | | | |

<ク、ケの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|-------|----|-------|----|-------|----|-------|
| 1 | 0.017 | 2 | 0.032 | 3 | 0.17 | 4 | 0.32 |
| 5 | 1.7 | 6 | 3.2 | 7 | 17 | 8 | 32 |
| 9 | 170 | 10 | 320 | 11 | 1,700 | 12 | 3,200 |

<Iの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|---|---|-----------------|---|-----|---|----|
| 1 | 骨 | 2 | ^ひ 脾臓 | 3 | 甲状腺 | 4 | 全身 |
|---|---|---|-----------------|---|-----|---|----|

<Jの解答群>

- | | | | | | | | |
|---|------|---|---------|---|-------|---|-------|
| 1 | 骨や貝殻 | 2 | 氷河や南極の氷 | 3 | 木製品や紙 | 4 | 岩石や鉱物 |
|---|------|---|---------|---|-------|---|-------|

