

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 (11 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 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 細胞が電離放射線によって照射されると、細胞のDNAに損傷が生じ、突然変異、細胞死などが誘発される。細胞死は放射線による様々な□A影響を引き起こすが、細胞死の原因損傷は主としてDNAの□Bであると考えられている。放射線が細胞死を引き起こす性質を利用して、がんの放射線治療が行われている。放射線治療では、治療効果に関わる因子として照射条件やがん細胞の□Cなどが挙げられる。がん細胞は、それぞれ固有の□Cを持ち、また、その値はがん細胞の置かれた環境によっても大きく変わることが知られている。例えば、腫瘍血管から離れると酸素が十分供給されなくなり、低酸素細胞となる。一般に、酸素存在下で放射線照射された場合、低酸素下で照射された場合に比べ□Cが高まる。この現象は酸素効果という。酸素効果の程度はOERで表され、X線、γ線のOERは、□Dである。

<A～Dの解答群>

- | | | | |
|---------|----------|----------|------------|
| 1 確率的 | 2 確定的 | 3 塩基損傷 | 4 1本鎖切断 |
| 5 2本鎖切断 | 6 架橋形成 | 7 放射線感受性 | 8 突然変異誘発頻度 |
| 9 1～2 | 10 2.5～3 | 11 5～10 | |

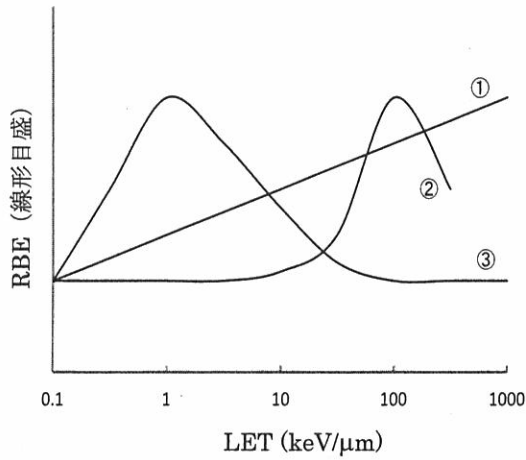
II 電離放射線の生物作用の様式には□E作用と□F作用がある。放射線はLETが異なると□Gが同じでも放射線損傷の質や程度が異なることが知られている。高LET放射線の生物作用は、低LET放射線に比べて□F作用の寄与が大きくなる。RBEは□Hやγ線を基準として求めるが、細胞致死のRBEとLETの関係は、一般的に図Aの□アのようなになる。また、設問Iで述べたOERとLETの関係は、図Bの□イのようなになる。さらに、高LET放射線の生物作用には、回復の程度が□I、細胞周期依存性が□Jといった特徴がある。

<E～Jの解答群>

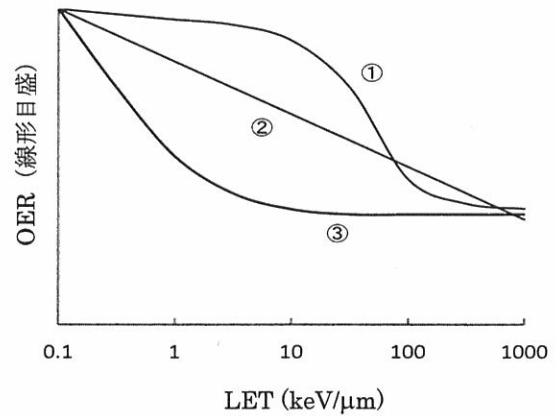
- | | | | | |
|--------|---------|--------|-------|-------|
| 1 線阻止能 | 2 質量阻止能 | 3 吸収線量 | 4 相加 | 5 相乗 |
| 6 間接 | 7 直接 | 8 小さい | 9 大きい | 10 α線 |
| 11 X線 | 12 中性子線 | | | |

<ア、イの解答群>

- | | | |
|-----|-----|-----|
| 1 ① | 2 ② | 3 ③ |
|-----|-----|-----|



図A



図B

Ⅲ がんの治療にはX線以外にも様々な放射線が使われている。陽子線は、体内に入っても浅いところでのエネルギー付与は小さく、ある程度入ったところでエネルギー付与が大きくなり、その部位に大きな線量を与える **K** を形成する。そのため、病巣に線量を集中でき、正常組織への障害を大きく軽減することに寄与している。

L は、設問Ⅱで述べた高 LET 放射線の生物学的特徴と、**K** を作るといった物理的特徴を持っており、がん治療に大きく期待されている。

また、**M** 中性子は原子核に吸収されやすく、中性子捕捉療法として **N** などの治療に使われている。この治療では、**ウ** は **M** 中性子に対する核反応断面積が非常に大きいことから、**ウ** を含み、腫瘍に集積する化合物を患者に投与する。中性子を吸収した **ウ** から α 線と **エ** 反跳核が放出され、これらの放出された粒子でがん細胞を照射する治療法である。

< K～Nの解答群 >

- | | | | |
|---------|--------|-----------|----------|
| 1 電子線 | 2 γ線 | 3 中性子線 | 4 重粒子線 |
| 5 X線 | 6 紫外線 | 7 ブラッグピーク | 8 全吸収ピーク |
| 9 サムピーク | 10 白血病 | 11 脳腫瘍 | 12 胃がん |
| 13 速 | 14 熱 | | |

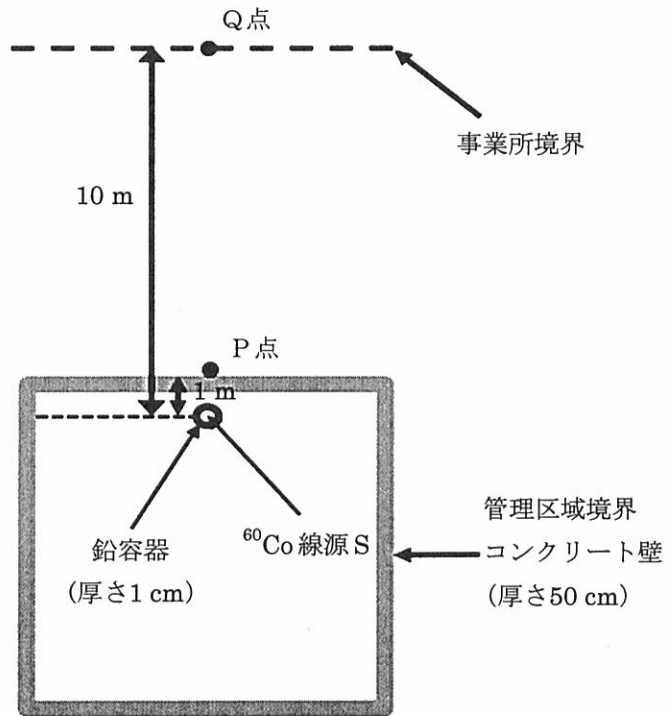
< ウ、エの解答群 >

- | | | | | |
|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 ^3He | 2 ^7Li | 3 ^{10}B | 4 ^{14}C | 5 ^{18}O |
| 6 ^{18}F | | | | |

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。

右図のようなコンクリート壁(厚さ50cm)で囲まれた貯蔵施設に、密封された⁶⁰Co線源Sが鉛容器(厚さ1cm)に格納され貯蔵されている。

管理区域境界についてはコンクリート外壁面とし、⁶⁰Co線源Sから管理区域境界及び事業所境界まで最も近い場所はそれぞれP点、Q点であり、線源Sからの距離は1m及び10mである。



ただし、本施設では⁶⁰Co線源Sを貯蔵するのみであり、使用しないものとする。また、それぞれの評価点

においては、散乱線及びスカイシャインの影響や事業所内の他の使用施設等からの影響は考えないものとする。なお、⁶⁰Co線源に対するγ線の実効線量率定数及び実効線量透過率は以下のとおりとする。

実効線量率定数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	0.31	
実効線量透過率	鉛 (厚さ 1 cm)	6.5×10^{-1}
	コンクリート (厚さ 50 cm)	2.4×10^{-2}

I 本施設で、⁶⁰Co線源Sとして370 MBq線源1個を貯蔵した場合、P点及びQ点における実効線量率はそれぞれ□A $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 及び□B $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ となる。

ここで、管理区域境界及び事業所境界の3月間における評価時間をそれぞれ、500時間、2184時間とすると、3月間における実効線量はそれぞれ□C mSv及び□D μSv となる。よって、P点、Q点においては、法令で定めるそれぞれの3月間における実効線量□E mSv及び□F μSv を超えない。

< A～Fの解答群 >

- | | | | | | | | | | |
|----|---------------------|----|---------------------|----|---------------------|----|-----|----|-----|
| 1 | 1.8×10^{-2} | 2 | 5.8×10^{-2} | 3 | 1.8×10^{-1} | 4 | 0.9 | 5 | 1.0 |
| 6 | 1.3 | 7 | 1.5 | 8 | 1.8 | 9 | 2.8 | 10 | 5.8 |
| 11 | 40 | 12 | 75 | 13 | 125 | 14 | 250 | 15 | 400 |

II 本施設では、 ^{60}Co 線源 S の放射能が現在の放射能の $1/3$ まで減衰したら、線源を交換することとしている。このため、線源の交換はおよそ 年後に実施することとなる。なお、 $\ln 2$ 、 $\ln 3$ をそれぞれ 0.69、1.1 とする。

また、設問 I における管理区域境界や事業所境界の評価を踏まえ、 ^{60}Co 線源 S の放射能を変更する場合、評価上は最大 MBq 程度まで貯蔵することが可能である。

例えば、 ^{60}Co 線源 S を放射能 2.7 GBq の線源に変更する場合には、鉛容器の厚さを変更する必要がある。ここで、 ^{60}Co の γ 線に対する鉛の半価層を 1.3 cm として評価すると、鉛容器の厚さを少なくともおよそ cm に変更する必要がある。

< G の解答群 >

1 3.5 2 5.5 3 8.5 4 12 5 17

< H の解答群 >

1 120 2 410 3 530 4 790 5 2400

< I の解答群 >

1 2.6 2 3.9 3 6.5 4 9.1 5 13

Ⅲ 本施設では、放射線業務従事者の個人被ばく管理に蛍光ガラス線量計、場所の測定に電離箱式サーベイメータを使用している。

蛍光ガラス線量計は、放射線照射された を で刺激することにより蛍光を発する現象を利用した線量計であり、特徴として、繰り返し読取りが可能で、フェーディングの影響はフィルムバッジと比べ 、素子間の特性のばらつきが小さいなどが挙げられる。

電離箱式サーベイメータは、主としてγ(X)線と電離箱壁材との相互作用により発生する の 作用で生じる を測定することにより放射線を計測している。

一般的に、電離箱式サーベイメータは、NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータと比べ、エネルギー依存性は 、感度は 。

< Jの解答群 >

- | | | |
|-----------|--------------|-----------|
| 1 硫酸鉄(Ⅱ) | 2 酸化アルミニウム | 3 硫酸カルシウム |
| 4 フッ化リチウム | 5 銀活性リン酸塩ガラス | 6 BaFBr |
| 7 CdTe | | |

< Kの解答群 >

- | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|------|
| 1 熱 | 2 赤外線 | 3 可視光 | 4 紫外線 | 5 電場 |
| 6 NaOH | 7 KOH | | | |

< Lの解答群 >

- | | | |
|-------|-------|-------|
| 1 大きい | 2 小さい | 3 同程度 |
|-------|-------|-------|

< Mの解答群 >

- | | | | | |
|--------|----------|--------|------|--------|
| 1 励起分子 | 2 オージェ電子 | 3 反跳電子 | 4 陽子 | 5 ラジカル |
| 6 二次電子 | | | | |

< Nの解答群 >

- | | | | | |
|--------|------|------|------|------|
| 1 ガス増幅 | 2 発熱 | 3 発光 | 4 励起 | 5 電離 |
| 6 酸化 | 7 還元 | | | |

< Oの解答群 >

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|------|
| 1 原子数 | 2 発熱量 | 3 発光量 | 4 吸光度 | 5 電流 |
| 6 分子数 | | | | |

< Pの解答群 >

- | | |
|-------|-------|
| 1 小さく | 2 大きく |
|-------|-------|

< Qの解答群 >

- | | | |
|------|------|-------|
| 1 高い | 2 低い | 3 等しい |
|------|------|-------|

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。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 ある事業所で30 MBqの ^{137}Cs 密封線源の所在不明が判明した。その旨を、遅滞なく□Aに届け出るとともに、事業所内を捜すこととした。この密封線源からは、 ^{137}Cs の娘核種の□Bより、エネルギー□C keVの□D線が放出されているので、□E式サーベイメータを用いることとした。

<A～Eの解答群>

- | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|
| 1 販売業者 | 2 保健所 | 3 警察官 | 4 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ |
| 5 $^{137\text{m}}\text{Cs}$ | 6 $^{137\text{m}}\text{Xe}$ | 7 364 | 8 662 |
| 9 1330 | 10 β | 11 γ | 12 中性子 |
| 13 ^3He 比例計数管 | 14 ZnS(Ag)シンチレーション | 15 GM管 | |

Ⅱ 設問Ⅰで使用する事としたサーベイメータの表示部には、線量率と計数率とが目盛りされている。この線量率とは□F率である。

まず、レンジスイッチを、フルスケール $3.0 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (線量率) 及び10 cps (計数率) のレンジに設定し、バックグラウンドを測定したところ、 $0.20 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ であった。線源捜索中に、仮に指示値が $0.50 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ を指したとすると、線源は、その場所から□G m離れたところにあると推定される。ただし、 ^{137}Cs の□F率定数を $0.090 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ とし、線源とサーベイメータの間の物質による吸収と散乱はないと仮定する。このレンジの時定数は10 sであるので、この指示値 $0.50 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ の相対誤差は□H %となる。

なお、線量率に変化しても、すぐに最終指示値が得られないことに注意する必要がある。例えば、時定数が10 s のとき、指示値が変化し始めてから10秒後の指示値の変化分は、最終的な指示値の変化分の□I %となる。ただし、 $e=2.7$ とする。

<F～Iの解答群>

- | | | | |
|--------|--------|-------------|-------|
| 1 照射線量 | 2 吸収線量 | 3 1 cm 線量当量 | 4 0.8 |
| 5 1.5 | 6 2.3 | 7 3.0 | 8 8.0 |
| 9 12 | 10 17 | 11 22 | 12 50 |
| 13 63 | 14 87 | 15 95 | |

Ⅲ 所在不明であった線源は、管理区域内で、ある職員の作業機の引き出しの一番奥から発見された。線源の破損が疑われたので汚染検査を行うこととし、線源の捜索に用いたものと同じサーベイメータを利用した。このとき、検出効率の高い 線を測定するため、サーベイメータに付属しているアルミニウムキャップを 使用した。汚染検査の結果、引き出しの一番奥にスポット状の汚染が一箇所検出された。そのときのサーベイメータの指示値は 400 cps であった。このサーベイメータの分解時間は 250 μ s であるので、真の計数率は cps となる。

聞き取り調査を行ったところ、この職員は、線源から 80 cm の距離で 1 日 4 時間、週に 5 日間働いていると推定された。また、線源が所在不明となっていた期間は 10 週間と推定された。これらの条件を用い、また、線源と職員との間の物品による遮へいを見做してこの職員の外部被ばく線量を評価したところ、 mSv と算定された。なお、放射性核種の体内への取り込みは、線源の破損状態及び表面汚染の状況から、ないと判断された。この職員について、リンパ球の有意な減少は検出 と推測され、また、染色体異常出現頻度の有意な上昇は検出 と推測された。

< J ~ O の解答群 >

1	β	2	γ	3	制動放射	4	装着して
5	外して	6	0.54	7	0.68	8	0.84
9	1.2	10	1.6	11	360	12	412
13	444	14	される	15	されない		

問4 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 ある核種が放射線を放出して別の核種に変わる現象を放射性壊変と呼び、このような核種を放射性核種、あるいは放射性同位元素という。放出される放射線としては、例えば ^{222}Rn からは□Aが、 ^{90}Sr からは□Bが、 ^{60}Co からは最初に□Bが、引き続いて□Cが放出される。一般的に、放射性同位元素から放出される放射線に限定すると、□Aの空気中での飛程は、数cm程度である。□Bの中には、空気中での飛程が数mに及ぶものもある。□Cは原子核内起源の光子であり、原子核外起源の光子である□Dとは区別されている。

これらの放射線は、□Aや□Bのような粒子放射線と、□C、□Dのような光子に大別される。さらに、粒子放射線は上記のような電荷を持つ荷電粒子線と電荷を持たない□Eなどがあり、□Eは自発核分裂によっても発生する。

<A～Eの解答群>

- | | | | |
|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 1 二次電子 | 2 水和電子 | 3 α 線 | 4 β 線 |
| 5 γ 線 | 6 δ 線 | 7 陽子線 | 8 中性子線 |
| 9 X線 | 10 二次宇宙放射線 | | |

Ⅱ 上記Ⅰで述べた、電荷を持つ粒子放射線について物質との相互作用をもう少し詳しく考えてみる。

粒子放射線は原子を構成する軌道電子や原子核と相互作用を行うが、その確率は軌道電子との場合の方が圧倒的に大きい。そのため□Fは、その本体であるHeの原子核の質量が電子に比べてはるかに大きいので、その進行方向が衝突ごとに極端に曲げられることはない。しかし、□Gは、原子との衝突ごとにその運動方向が大きく曲げられ、走行の様子はジグザグになる。これらの粒子放射線はいずれも、飛跡に沿って物質中の原子の励起や電離を起し、自らの運動エネルギーを失う。この現象は□Hと呼ばれ、励起や電離の密度は、同じエネルギーで比較すると、□Fの方が□Gの場合よりも大きくなる。一方、衝突の前後で粒子放射線の運動エネルギーが保存される現象を□Iと呼ぶ。

さらに、□Gは、そのエネルギーが高い場合に物質の原子核の近くを通過するとき、原子核の強いクーロン場によって減速され、そのエネルギー損失に相当する□Jを発生する。

<F～Jの解答群>

- | | | | |
|--------------|-------------|--------------|----------|
| 1 α 線 | 2 β 線 | 3 γ 線 | 4 中性子線 |
| 5 二次宇宙放射線 | 6 制動放射線 | 7 トムソン散乱 | 8 光散乱 |
| 9 コンプトン散乱 | 10 レイリー散乱 | 11 弾性散乱 | 12 非弾性散乱 |

Ⅲ 放射性同位元素から放出される光子と物質との相互作用について考えてみる。ここでのキーワードは光子のエネルギーである。

光子のエネルギーすべてを吸収して原子内の が放出される現象を と呼ぶ。放出される電子の得たエネルギーは、光子の全エネルギーではなく、それから の束縛エネルギーを差し引いたものである。

高エネルギーの光子は電子と衝突し、電子を原子から飛び出させると同時に自分自身もエネルギーを失って、波長の 光子、すなわち、散乱光子となる。このような散乱現象を と呼ぶ。したがって、このような を繰り返しているうちに、光子はそのエネルギーが低下し、ついには を起こして原子に吸収される。

光子のエネルギーが低い場合は、 の束縛エネルギーの方が高いために、散乱によって光子エネルギーが変化しないことがあり、このような現象を と呼ぶ。一方、 MeV 以上の高エネルギーの光子が原子核の近傍を通過する際、光子は消滅して、電子とその反粒子である の対を生成することがある。この現象を と呼ぶ。

< K～Nの解答群 >

- | | | | |
|--------|-----------|------------|-------------|
| 1 光散乱 | 2 前方散乱 | 3 後方散乱 | 4 レイリー散乱 |
| 5 弾性散乱 | 6 非弾性散乱 | 7 イオン対生成 | 8 電子対生成 |
| 9 光電効果 | 10 オージェ効果 | 11 コンプトン効果 | 12 ビルドアップ効果 |

< a、bの解答群 >

- | | | | |
|--------|-------|--------|---------|
| 1 軌道電子 | 2 陽電子 | 3 二次電子 | 4 消滅放射線 |
|--------|-------|--------|---------|

< アの解答群 >

- | | | |
|------|------|------|
| 1 長い | 2 短い | 3 同じ |
|------|------|------|

< イの解答群 >

- | | |
|---------|---------|
| 1 0.511 | 2 1.022 |
|---------|---------|

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数値を、それぞれの解答群から 1 つだけ選べ。

I 放射性壊変に伴って、核種の原子番号や質量数に変化が生ずる場合がある。下表を完成せよ。

壊変形式	原子番号の変化	質量数の変化
<input type="text" value="A"/>	-2	<input type="text" value="E"/>
<input type="text" value="B"/>	-1	0
<input type="text" value="C"/>	0	0
<input type="text" value="D"/>	+1	0
β^+ 壊変	-1	<input type="text" value="F"/>

< A～D の解答群 >

- 1 α 壊変 2 β^- 壊変 3 軌道電子捕獲 4 核異性体転移 5 自発核分裂

< E、F の解答群 >

- 1 -5 2 -4 3 -3 4 -2 5 -1
 6 0 7 +1 8 +2

II 放射性同位元素は、線源として機器に装備され、工業分野などで利用されている。線源に利用される核種とその利用に関して、下表を完成せよ。

核種	半減期	利用する放射線	利用機器
^{63}Ni	<input type="text" value="G"/>	<input type="text" value="I"/>	<input type="text" value="L"/>
^{192}Ir	<input type="text" value="H"/>	<input type="text" value="J"/>	非破壊検査装置
^{252}Cf	2.65 年	<input type="text" value="K"/>	<input type="text" value="M"/>

< G、H の解答群 >

- 1 14.3 日 2 73.8 日 3 138 日 4 5.27 年
 5 28.7 年 6 30.0 年 7 100 年 8 432 年

< I～K の解答群 >

- 1 α 線 2 β 線 3 γ 線 4 特性 X 線
 5 中性子線

< L、M の解答群 >

- 1 厚さ計 2 レベル計 3 ガスクロマトグラフ
 4 硫黄計 5 水分計

III 計数装置を用いて試料を 20 分間測定した結果、6400 カウントであった。この測定値の計数率は cpm であり、その標準偏差は cpm である。この計数装置のバックグラウンド計数率が 40 ± 2 cpm である場合、試料の正味の計数率は cpm であり、正味の計数率の標準偏差は cpm である。正味の計数率の相対標準偏差は % である。

< N の解答群 >

1 80 2 110 3 160 4 320 5 640

< O の解答群 >

1 0.9 2 2 3 4 4 20 5 80

< P の解答群 >

1 40 2 70 3 120 4 280 5 600

< Q の解答群 >

1 2.0 2 2.4 3 3.5 4 4.5 5 6.0

< R の解答群 >

1 1.1 2 1.6 3 2.1 4 3.2 5 4.2