

## 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 (13 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又は記号を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 放射線のDNAなどの標的分子への作用には直接作用と間接作用がある。直接作用とは放射線が標的分子に直接作用して、損傷を与える作用である。これに対し、間接作用とは水の放射線分解により発生した□Aを介した標的分子への作用である。間接作用を反映する現象として、□B防護効果、酸素効果、□C効果などが知られている。

□Aは、□D基を持つシステインなどと反応してその活性は低下し、細胞は放射線の作用を受けにくくなる。この現象を□B防護効果という。高い酸素分圧下で照射したときの方が、低い酸素分圧下で照射したときより細胞の放射線感受性が高くなる。この現象を酸素効果という。酵素溶液に一定の線量を照射した場合、その機能の失活率は、□E作用では濃度によらず一定であるが、□F作用では酵素の濃度を高くすると□Gくなる。この現象を□C効果という。

< A～Cの解答群 >

- |         |       |        |           |
|---------|-------|--------|-----------|
| 1 二次電子  | 2 中性子 | 3 水素分子 | 4 フリーラジカル |
| 5 二酸化炭素 | 6 希釈  | 7 化学的  | 8 生物学的    |

< D～Gの解答群 >

- |      |      |        |      |
|------|------|--------|------|
| 1 SH | 2 OH | 3 COOH | 4 NO |
| 5 間接 | 6 直接 | 7 促進   | 8 緩和 |
| 9 高  | 10 低 |        |      |

II 遺伝子の本体である核酸には DNA(デオキシリボ核酸)と RNA(リボ核酸)とがある。DNA は、 骨格をもつチミンと, 及び 骨格をもつ と の 4 種類の塩基と糖とリン酸で構成され、チミンと,  と がそれぞれ選択的に水素結合により対を形成し、二重らせん構造を作っている。

放射線は DNA に作用し、いろいろな損傷を引き起こす。 は主に放射線によって生じた が塩基に結合して生じる損傷である。 は、主に糖鎖の損傷により発生する。 は DNA の両鎖の間で起こる場合と片方の鎖内で起こる場合があり、塩基間あるいは塩基とタンパク質間の共有結合により生じる。

<H～Lの解答群>

- |        |         |         |        |
|--------|---------|---------|--------|
| 1 プリン  | 2 ビリルビン | 3 ピリミジン | 4 アデニン |
| 5 アニリン | 6 シトシン  | 7 ウラシル  | 8 グアニン |

<M～Pの解答群>

- |           |        |               |         |
|-----------|--------|---------------|---------|
| 1 鎖切断     | 2 架橋形成 | 3 チミン二量体形成    | 4 付加体形成 |
| 5 塩基損傷    | 6 二次電子 | 7 ラジカルスカベンジャー |         |
| 8 フリーラジカル | 9 中性子  |               |         |

III DNA 損傷が修復されるときには、損傷の種類や大きさによりいろいろの修復機構が働く。DNA 1 本鎖の損傷に対しては、単一の塩基の損傷を修復する, 数十塩基に影響が及ぶ比較的大規模な損傷を修復するなどが知られている。機能の欠失は色素性乾皮症の原因となる。また DNA 2 本鎖切断の修復では、同一の塩基配列をもつ鋳型鎖を利用する経路と利用しない経路があることが知られている。

<Q～Tの解答群>

- |             |              |          |            |
|-------------|--------------|----------|------------|
| 1 Elkind 回復 | 2 PLD 回復     | 3 光回復    | 4 塩基除去修復   |
| 5 SOS 修復    | 6 ヌクレオチド除去修復 | 7 DNA 複製 |            |
| 8 相同組換え     | 9 乗換え        | 10 不等乗換え | 11 非相同末端結合 |

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 われわれは自然界に存在する放射線や放射性核種によって常に被ばくしている。また、その一方で、放射性同位元素を利用した機器が様々な分野で使用されており、現代社会において欠かせないものとなっている。

日常生活での内部被ばくに寄与する代表的な天然放射性核種としては、□ア□とその子孫核種(壊変生成核種)や、 $^{40}\text{K}$  があげられる。これら核種による年間の内部被ばく線量(世界平均)は、前者によるものが□イ□ mSv、後者によるものが 0.17 mSv と報告されている。

□ア□ は、□A□ 系列に属する放射性核種で、常温では□B□ 状態で存在する。また、□ア□ は約 3.8 日の半減期で□C□ 壊変し、壊変により質量数が□D□。

$^{40}\text{K}$  はカリウム同位体の約 0.012% を占めており、野菜などの摂取によって人の体内に取り込まれ、体内では□E□ している。また、 $^{40}\text{K}$  は分岐壊変する核種であり、約 89% が  $\beta^-$  壊変により  $^{40}\text{Ca}$  となり、約 11% が□F□ により  $^{40}\text{Ar}$  となる。

< A～C の解答群 >

- |             |        |            |             |
|-------------|--------|------------|-------------|
| 1 ウラン       | 2 トリウム | 3 アクチニウム   | 4 気体        |
| 5 液体        | 6 固体   | 7 $\alpha$ | 8 $\beta^-$ |
| 9 $\beta^+$ |        |            |             |

< D の解答群 >

- |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|
| 1 4 増える | 2 2 増える | 3 1 増える | 4 変わらない |
| 5 1 減る  | 6 2 減る  | 7 4 減る  |         |

< E の解答群 >

- |        |         |         |
|--------|---------|---------|
| 1 骨に集積 | 2 肝臓に集積 | 3 全身に分布 |
|--------|---------|---------|

< F の解答群 >

- |                |         |          |
|----------------|---------|----------|
| 1 $\beta^+$ 壊変 | 2 EC 壊変 | 3 核異性体転移 |
|----------------|---------|----------|

< ア、イの解答群 >

- |                     |                     |                     |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 $^{219}\text{Rn}$ | 2 $^{220}\text{Rn}$ | 3 $^{222}\text{Rn}$ | 4 $^{223}\text{Ra}$ |
| 5 $^{224}\text{Ra}$ | 6 $^{226}\text{Ra}$ | 7 $^{232}\text{Th}$ | 8 $^{235}\text{U}$  |
| 9 $^{238}\text{U}$  | 1 0 0.12            | 1 1 0.24            | 1 2 1.2             |
| 1 3 2.4             |                     |                     |                     |

II 日常生活での外部被ばくに寄与する代表的な放射線としては、地殻起源の核種からの放射線や、宇宙線があげられる。これら放射線による年間の外部被ばく線量(世界平均)は、前者によるものが  ウ  mSv、後者によるものが 0.38 mSv と報告されている。

地殻起源の核種からの放射線による外部被ばくには、土壌中や建材中に含まれるウラン系列核種、トリウム系列核種及び  $^{40}\text{K}$  からの  G  が主に寄与している。

宇宙線による外部被ばくには、宇宙線による大気中の原子核の  H  反応に伴って発生した二次宇宙線(電子、光子、中性子、ミューオンなど)が寄与しており、それらによる被ばく線量は基本的に標高の高い場所ほど  I  くなる。また、宇宙線に起因する核反応により、大気中では  $^3\text{H}$ 、 $^7\text{Be}$ 、 エ  などの誘導放射性核種が生成されている。このうち  エ  は、大気中に広く分布し、半減期が約  オ  年と長いことから、考古学試料などの年代測定に利用されている。

<G～Iの解答群>

- |          |              |        |       |
|----------|--------------|--------|-------|
| 1 特性 X 線 | 2 $\gamma$ 線 | 3 中性子線 | 4 核破碎 |
| 5 核融合    | 6 核分裂        | 7 高    | 8 低   |

<ウ～オの解答群>

- |                   |                   |                   |       |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
| 1 0.48            | 2 0.78            | 3 1.0             | 4 2.4 |
| 5 $^{11}\text{C}$ | 6 $^{13}\text{C}$ | 7 $^{14}\text{C}$ | 8 430 |
| 9 1,600           | 10 5,700          | 11 10,000         |       |

Ⅲ 放射性同位元素を利用した機器は、様々な用途で使用されており、放射線の種類やエネルギーなどを考慮し、目的に適した放射性同位元素が装備されている。

エレクトロン・キャプチャ・ディテクタ (ECD) ガスクロマトグラフは、線によるキャリアガスのイオン化を利用し、電流の変化から PCB などの電子親和性化合物を高感度で検出(定量)する。本装置では一般的に、線源にはを用い、キャリアガスには窒素を用いている。

厚さ計は、放射線の吸収や散乱の差を利用して厚さを測定するもので、測定対象物によって利用される線種や線源が異なる。使用許可・届出台数を比較してみると、 $\beta$ 線を利用した厚さ計では線源にや $^{147}\text{Pm}$ を用いた機器が多く、 $\gamma$ 線を利用した厚さ計では線源にや $^{137}\text{Cs}$ を用いた機器が多い。また、厚さ計には主に透過型と散乱型があるが、 $\beta$ 線を利用した厚さ計は、存在する。なお、放射線の吸収や散乱を利用した機器は厚さ計以外にも幅広く使用されており、多くの機器は $\beta$ 線や $\gamma$ 線を利用しているが、のように中性子線を利用している機器もある。

< J～Lの解答群 >

- |                  |                  |                   |                   |
|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1 低エネルギー $\beta$ | 2 高エネルギー $\beta$ | 3 低エネルギー $\gamma$ | 4 高エネルギー $\gamma$ |
| 5 透過型のみ          | 6 散乱型のみ          | 7 両方とも            | 8 密度計             |
| 9 レベル計           | 10 水分計           | 11 たばこ量目制御装置      |                   |

< カ～クの解答群 >

- |                     |                     |                    |                     |
|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| 1 $^{60}\text{Co}$  | 2 $^{63}\text{Ni}$  | 3 $^{85}\text{Kr}$ | 4 $^{192}\text{Ir}$ |
| 5 $^{204}\text{Tl}$ | 6 $^{241}\text{Am}$ |                    |                     |

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 ある事業所で<sup>137</sup>Cs 密封線源(370 MBq×1 個)を所有し、使用室内に備え付けられている貯蔵箱(鉛 3 cm 厚)に貯蔵している。線源を使用する際は、貯蔵箱から線源を取り出して、使用室内の指定された場所で使用している。ここで、作業者の1週間当たり最大となる実効線量を、以下に示す<sup>137</sup>Cs に対する実効線量率定数、実効線量透過率及び各条件により評価した。なお、線源の使用時以外は貯蔵箱内で貯蔵しているものとし、作業者の1週間当たりの最大作業時間は40 hとする。また、散乱線による影響は考慮しないものとする。

実効線量率定数 [ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ]	実効線量透過率 (鉛 3 cm 厚)	評価条件		
		1週間当たりの 線源最大使用時間[h]	線源からの距離[m]	
			使用時	貯蔵時
$7.8\times 10^{-2}$	$5.0\times 10^{-2}$	5	0.5	0.5

線源の使用時と貯蔵時における作業者の1時間当たりの実効線量を評価すると、使用時及び貯蔵時は、それぞれ□A□  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 、□B□  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ となり、貯蔵時より使用時の方が高くなる。このため、作業者の1週間当たり最大となる実効線量は、線源の使用時間を5 h、貯蔵時間を35 hとして評価する場合となり、その値は□C□ mSvとなる。この値は、法令で定める施設内の人が常時立ち入る場所における線量限度□D□ mSvを超えない。

< A～Dの解答群 >

1 0.29	2 0.57	3 0.78	4 0.95
5 1.0	6 1.3	7 2.9	8 5.8
9 12	10 29	11 58	12 100
13 115	14 130	15 150	

II Iに基づく評価で、 $^{137}\text{Cs}$  密封線源の1週間当たりの線源最大使用時間を5hから15hに変更した場合、作業者の1週間当たり最大となる実効線量は  $\boxed{\text{E}}$  mSv となり、法令で定める施設内の人が常時立ち入る場所における線量限度を  $\boxed{\text{F}}$ 。ここで、法令で定める施設内の人が常時立ち入る場所における線量限度を考慮し、1週間当たりの線源最大使用時間を評価すると、最大(最長)でおよそ  $\boxed{\text{G}}$  h に変更することが可能であることがわかる。

本事業所で使用されている密封線源の  $^{137}\text{Cs}$  は、半減期  $\boxed{\text{H}}$  年であり、 $\boxed{\text{I}}$  壊変し  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  となり、エネルギー  $\boxed{\text{J}}$  MeV の  $\gamma$  線を放出し  $\boxed{\text{K}}$  となる。

ここで、 $^{137}\text{Cs}$  密封線源の放射能が現在の値の3/4に減衰したら線源を交換することとした場合、およそ  $\boxed{\text{L}}$  年後に交換することになる。なお、 $\ln 2$ 、 $\ln 3$  をそれぞれ 0.69、1.1 とする。

< E の解答群 >

- |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 0.8 | 2 0.9 | 3 1.1 | 4 1.3 |
| 5 1.5 | 6 1.7 | 7 1.9 |       |

< F の解答群 >

- |       |        |
|-------|--------|
| 1 超える | 2 超えない |
|-------|--------|

< G の解答群 >

- |      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| 1 7  | 2 10 | 3 12 | 4 14 |
| 5 20 | 6 25 |      |      |

< H の解答群 >

- |       |       |      |      |
|-------|-------|------|------|
| 1 2.6 | 2 5.3 | 3 10 | 4 30 |
| 5 100 | 6 430 |      |      |

< I の解答群 >

- |            |             |             |
|------------|-------------|-------------|
| 1 $\alpha$ | 2 $\beta^-$ | 3 $\beta^+$ |
|------------|-------------|-------------|

< J の解答群 >

- |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 0.06 | 2 0.20 | 3 0.32 | 4 0.55 |
| 5 0.66 | 6 1.1  | 7 1.3  | 8 1.7  |

< K の解答群 >

- |                     |                     |                     |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 $^{135}\text{Ba}$ | 2 $^{136}\text{Ba}$ | 3 $^{137}\text{Ba}$ | 4 $^{138}\text{Ba}$ |
| 5 $^{139}\text{Ba}$ | 6 $^{138}\text{La}$ | 7 $^{139}\text{La}$ | 8 $^{140}\text{La}$ |

< L の解答群 >

- |      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| 1 3  | 2 5  | 3 7  | 4 10 |
| 5 12 | 6 15 | 7 20 | 8 25 |

Ⅲ 作業者の外部被ばく線量を測定するため、個人被ばく線量計を使用する必要がある。γ (X)線用として一般的に使用されている線量計としては、銀活性リン酸塩ガラスを検出素子とする 、 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$  や  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$  などを検出素子とする 、酸化アルミニウムを検出素子とする  などがある。

使用する個人被ばく線量計は、測定対象とする放射線の種類やエネルギー範囲、線量範囲、測定の目的及び頻度などを考慮して選択する必要がある。本事業所では線源やその使用状況などを考慮し、個人被ばく線量計として  を使用している。この線量計は、検出素子が放射線を受けると一部の  が格子欠陥に捕捉されて準安定状態となり、この状態で光刺激を受けると  を発する現象を利用している。

<M～Qの解答群>

- |            |                   |           |
|------------|-------------------|-----------|
| 1 蛍光ガラス線量計 | 2 OSL 線量計         | 3 固体飛跡検出器 |
| 4 フィルムバッジ  | 5 熱ルミネセンス線量計(TLD) | 6 フリッケ線量計 |
| 7 電子式線量計   | 8 原子              | 9 イオン     |
| 10 電子      | 11 蛍光             | 12 特性X線   |
| 13 熱       |                   |           |

問4 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 表面汚染の測定や線量当量率の測定に、様々な種類のサーベイメータが用いられている。例えば、 $\alpha$  核種の汚染測定用として [ A ] 式があり、 $\beta$  核種の汚染測定用として [ B ] 式があり、中性子線の線量当量率測定用として減速材を組み込んだ [ C ] 式があり、 $\gamma$  (X) 線の線量当量率測定用として [ D ] 式、GM 管式、NaI(Tl) シンチレーション式などがある。

このうち、[ A ] 式サーベイメータの特徴の 1 つは、 $\gamma$  線に対して感度が [ E ] ことであり、このためバックグラウンド計数率は通常 [ F ] cpm 程度である。また、検出窓は破損しやすく、微小な破損で指示値が [ G ] するので、その取扱いには十分な注意が必要である。

一方、[ B ] 式サーベイメータの特徴の 1 つは、[ H ] 時間が長いので計数の数え落としが問題となる点である。入射した放射線により [ I ] すると、中心電極を包むように [ J ] の鞘が<sup>まぶ</sup>残され、中心付近の [ K ] が小さくなり、次の放射線による [ I ] が起こらないことによるものである。例えば、[ H ] 時間が 250  $\mu$ s のサーベイメータにおいて指示値 12,000 cpm が得られたとき、真の値の [ L ] % が数え落とされていることになる。

< A～D の解答群 >

- |                       |              |                    |           |
|-----------------------|--------------|--------------------|-----------|
| 1 電離箱                 | 2 放電箱        | 3 ZnS(Ag) シンチレーション |           |
| 4 MOSFET              | 5 高純度 Ge 半導体 | 6 GM 管             | 7 固体飛跡検出器 |
| 8 $^3\text{He}$ 比例計数管 |              |                    |           |

< E～G の解答群 >

- |         |           |       |         |
|---------|-----------|-------|---------|
| 1 低い    | 2 高い      | 3 0～3 | 4 10～20 |
| 5 40～80 | 6 100～150 | 7 低下  | 8 上昇    |

< H～K の解答群 >

- |        |         |         |        |
|--------|---------|---------|--------|
| 1 遅延   | 2 分解    | 3 減衰    | 4 緩和   |
| 5 励起   | 6 発光    | 7 放電    | 8 陽イオン |
| 9 陰イオン | 10 二次電子 | 11 電気抵抗 | 12 磁場  |
| 13 電場  | 14 静電容量 |         |        |

< L の解答群 >

- |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 2.5 | 2 3.0 | 3 3.5 | 4 4.0 |
| 5 5.0 | 6 6.0 | 7 8.0 | 8 10  |

II サーベイメータの指示値の統計誤差(標準偏差)は、計数率計の時定数に依存している。例えば、時定数 10 s のサーベイメータで 300 cpm の計数率が得られたとすると、この計数率の統計誤差(標準偏差)は  cpm となる。なお、時定数 ( $\tau$ ) とは、計数率計回路のコンデンサの静電容量 ( $C$ ) と並列抵抗の抵抗値 ( $R$ ) とから、 $\tau =$   で求められる値である。

また、計数率計にはこのような時定数が存在するため、放射線場が急激に強くなっても、すぐには最終指示値が得られない。時定数 10 s のサーベイメータでは、初めの指示値が 0 であるとき、最終指示値の 90% に達するのに、 s を要する。ただし、 $\ln 10 = 2.3$  とする。

<M~Oの解答群>

- |         |            |            |          |
|---------|------------|------------|----------|
| 1 15    | 2 19       | 3 23       | 4 27     |
| 5 30    | 6 35       | 7 38       | 8 40     |
| 9 44    | 10 48      | 11 $R/C$   | 12 $C/R$ |
| 13 $RC$ | 14 $R/C^2$ | 15 $C/R^2$ |          |

III サーベイメータの感度は一般的に  $\gamma$  線エネルギーによって変化する。したがって、校正時と異なるエネルギーの  $\gamma$  線による線量当量率を測定する場合は、指示値に校正定数(真の値/指示値)を乗じる必要がある。例えば、 $^{137}\text{Cs}$  を用いて校正された GM 管式サーベイメータで  $^{60}\text{Co}$  による線量当量率を測定する場合、乗ずる校正定数は、一般的に、1 より  い。

サーベイメータの感度は  $\gamma$  線の入射方向によっても変化する。GM 管式サーベイメータでは、検出器の前面よりも側面方向から入射する  $\gamma$  線に対して感度が  くなる。これには、管壁での  が主に関わっている。

サーベイメータの特性は時間とともに変化する可能性があり、定期的に校正することが望ましい。数え落としの無視できる、ある線量当量率測定用サーベイメータを、3.7 GBq の  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  線源を用い、2 m 離れた地点で校正することとした。 $^{137}\text{Cs}$  に対する 1 cm 線量当量率定数を  $0.093 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  とし、周囲の物質による散乱はないと仮定すると、この地点の 1 cm 線量当量率は   $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  となる。一方サーベイメータの指示値は  $82 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  であった。このことより、このサーベイメータの校正定数は  と評価された。なお、校正を行った地点のバックグラウンド放射線による線量当量率は無視することができた。

<Pの解答群>

- |     |     |
|-----|-----|
| 1 小 | 2 大 |
|-----|-----|

<Q、Rの解答群>

- |     |     |                   |           |
|-----|-----|-------------------|-----------|
| 1 低 | 2 高 | 3 $\gamma$ 線のしゃへい | 4 二次電子の放出 |
|-----|-----|-------------------|-----------|

<S、Tの解答群>

- |        |         |         |         |
|--------|---------|---------|---------|
| 1 72   | 2 77    | 3 81    | 4 86    |
| 5 90   | 6 94    | 7 0.88  | 8 0.94  |
| 9 0.99 | 10 1.05 | 11 1.10 | 12 1.15 |

問5 次のⅠ、Ⅱ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 電磁波や荷電粒子線によって物質が照射された際に、軌道電子が原子核の束縛を離れて自由電子となる現象を□ A □という。これに対して、軌道電子が基底状態よりもエネルギー準位の高い軌道に遷移するが、なお原子核に束縛されている現象を□ B □という。□ A □に必要なエネルギーは、□ B □に必要なエネルギーに比べて□ C □。

気体に荷電粒子線を照射すると、飛跡に沿って多数のイオン対が生じる。このときイオン対が生じた空間に電場をかけると、イオンが陰極に、電子が陽極に向かってそれぞれ移動するため両電極間に□ D □が生じる。この□ D □を検出し定量することで放射線が計測される。このような原理で動作する放射線検出器を□ E □という。同様に、□ A □によって生じた電荷を電場で収集することを原理とする放射線検出器であって、放射線のエネルギーを吸収する物質が固体であるものは□ F □である。

ここで、荷電粒子線のエネルギーを  $E$  [eV]、気体の  $W$  値を  $W$  [eV]、生じるイオン1個当たりの電荷を  $q$  [C]とすると、1つの粒子の入射で気体中に生じる電荷の量(正負のうち片方)は、□ ア □ Cで表される。 $W$  値の大きさは気体の種類によって異なるが、多くの気体では25 eVから45 eVの範囲にあり、 $\beta$ 線に対する空気の  $W$  値は約□ イ □ eVである。一方、固体では1個の電子・正孔対を形成するのに必要なエネルギーは  $\epsilon$  値と呼ばれる。 $\epsilon$  値はおおむね気体の  $W$  値と比べて□ ウ □。これは、上記の□ F □が、エネルギー分解能に優れた放射線検出器であることの一因である。

< A～Dの解答群 >

- |         |       |          |       |
|---------|-------|----------|-------|
| 1 励起    | 2 脱励起 | 3 放射化    | 4 散乱  |
| 5 電離    | 6 加熱  | 7 軌道電子捕獲 | 8 大きい |
| 9 小さい   | 10 発光 | 11 電流    | 12 霧  |
| 13 特性X線 |       |          |       |

< E、Fの解答群 >

- |              |           |               |
|--------------|-----------|---------------|
| 1 霧箱         | 2 泡箱      | 3 電離箱         |
| 4 半導体検出器     | 5 光電子増倍管  | 6 シンチレーション検出器 |
| 7 イメージングプレート | 8 フリッケ線量計 |               |

< ア～ウの解答群 >

- |           |            |            |            |
|-----------|------------|------------|------------|
| 1 $qEW$   | 2 $qW/E$   | 3 $EW/q$   | 4 $qE/W$   |
| 5 26      | 6 30       | 7 34       | 8 38       |
| 9 2桁程度小さい | 10 1桁程度小さい | 11 1桁程度大きい | 12 2桁程度大きい |

II 高エネルギーの光子( $\gamma$ 線やX線)が物質に入射すると、主にコンプトン散乱、光電効果及び電子対生成の3種類の相互作用を介して、光子のエネルギーが物質に与えられる。

コンプトン散乱では、入射した光子のエネルギーの一部が軌道電子に与えられ、反跳電子が放出される。また、入射した光子は散乱されて進行方向が変わり、エネルギーは低下する。このとき、散乱された光子の波長は、入射した光子の波長に比べて  なる。

散乱された光子のエネルギーは散乱角度に依存し、散乱角度が  $180^\circ$  のとき、すなわち入射方向へ散乱されるときに最小となる。入射光子のエネルギーが  $511 \text{ keV}$  ならば、散乱光子のエネルギーの最小値は   $\text{keV}$  であり、波高スペクトルの   $\text{keV}$  に相当する位置付近にはコンプトンエッジが観測される。また、この光子の波長は、散乱によって   $\text{m}$  だけ  になった。なお、プランク定数は  $4.14 \times 10^{-18} \text{ keV} \cdot \text{s}$  とする。

光電効果では、入射した光子はエネルギーをすべて軌道電子に与えて消滅し、光電子が放出される。また、光電子が放出された後に、入射光子とは異なるエネルギーの光子が発生することがある。これは、放出された電子の軌道に生じた空席へ外側の軌道の電子が遷移した際に、その余剰エネルギーが光子として放出されたもので  と呼ばれる。また、 の代わりに、 が放出される場合もある。

電子対生成では、入射した光子のエネルギーはすべて電子と陽電子の生成及び電子と陽電子の運動エネルギーに費やされ、光子は消滅する。電子対生成にはしきい値があり、光子のエネルギーが   $\text{keV}$  よりも小さいときには起こらない。このしきい値は、電子  個分の静止質量のエネルギーに相当する。

なお、いわゆる質量とエネルギーの等価性を、 から導いた科学者はアインシュタインである。更に、アインシュタインは光量子仮説によって  を説明することにも成功し、この業績によってノーベル物理学賞を受賞した。また、量子力学にのっとなって  の確率(微分断面積)を初めて計算した科学者の一人は仁科芳雄であり、その結果はクライン-仁科の式として知られている。

<G~Iの解答群>

- |            |           |          |        |
|------------|-----------|----------|--------|
| 1 短く       | 2 長く      | 3 制動X線   | 4 特性X線 |
| 5 連続X線     | 6 チェレンコフ光 | 7 オージェ電子 | 8 陽電子  |
| 9 電子ニュートリノ | 10 空孔     |          |        |

<J~Lの解答群>

- |         |           |          |           |
|---------|-----------|----------|-----------|
| 1 光電効果  | 2 コンプトン散乱 | 3 電子対生成  | 4 質量保存の法則 |
| 5 万有引力  | 6 不確定性原理  | 7 ブラウン運動 | 8 統一場理論   |
| 9 相対性理論 |           |          |           |

<エ、オの解答群>

- |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 102 | 2 170 | 3 256 | 4 341 |
| 5 409 | 6 511 |       |       |

<カの解答群>

1  $4.9 \times 10^{-10}$

2  $4.9 \times 10^{-11}$

3  $4.9 \times 10^{-12}$

4  $4.9 \times 10^{-13}$

<キの解答群>

1 511

2 1,022

3 2,044

4 4,088

<クの解答群>

1 1

2 2

3 4

4 8

