

## 第 58 回

### 核燃料取扱主任者試験

# 放射線の測定及び放射線障害 の防止に関する技術

- (注意) (イ) 解答用紙には、問題番号のみを付して解答すること。  
(指示がない限り問題を写し取る必要はない。)
- (ロ) 問題は全部で6問。1問題ごとに1枚の解答用紙を使用すること。

令和8年3月3日

第1問 以下の問いに答えよ。

- (1) 放射性壊変に伴う核種の原子番号及び質量数の増減数について記載した下表を完成させるため、に入る適切な語句又は数値を番号とともに記せ。

〔解答例〕 ㉑－東京

壊変形式	原子番号の増減	質量数の増減
核異性体転移	<input type="text" value="①"/>	±0
<input type="text" value="②"/>	-2	<input type="text" value="③"/>
<input type="text" value="④"/>	-1	±0
β <sup>+</sup> 壊変	-1	<input type="text" value="⑤"/>

- (2) 以下の文章中のに入る適切な語句、数値又は式を番号とともに記せ。なお、同じ番号のには、同じ語句が入る。

〔解答例〕 ㉑－東京

原子核の質量を表すには統一原子質量単位 (u) が用いられる。1u とは静止した基底状態で結合していない1個のの質量の分の1と定められており、この値は1個の中性子あるいは陽子の質量にほぼ等しい。

中性子、陽子、電子の3つについて、それぞれの静止エネルギーを比べたとき、その静止エネルギーを小さい順に記すと、 <  <  となる。

放射性物質による表面密度の測定法には、汚染と汚染の両者を含めて汚染量を測定する直接法と、汚染を測定する間接法がある。汚染がある場合には汚染が舞い上がり、呼吸によるをもたらし原因となる。

直接法は放射線測定器を用いて直接に測定する方法で、汚染の場所や汚染の範囲を検知するのに有効であるが、測定を行う場所の放射線量が高い場合においてはが高くなる。測定時には見落としの無いように時定数の倍以上静止する必要がある。これにより定常状態に達した時の値の約%の値が表示される。

間接法はろ紙を用いて測定箇所を拭き取り、ろ紙に移行した放射性物質を測定する方法である。測定には端窓型 GM 計数管式サーベイメータを用いることが多いが、低いエネルギーのβ線を測定するときはを用いて測定する。また、α線を測定するときはを蛍光体とするシンチレータを採用したサーベイメータを用いる。

間接法により、ろ紙を測定して表面密度  $A$  を求め、法令に定める表面密度限度を満足しているか否かを「 $A \div$ 表面密度限度」により判定することとした。

このとき、 $N$  : 測定された計数率 ( $\text{min}^{-1}$ )

$N_b$  : バックグラウンド計数率 ( $\text{min}^{-1}$ )

$F$  : ろ紙の拭き取り効率 (ろ紙の拭き取り効率は、測定箇所が平滑で浸透性の低いほど、その値が  $\text{⑰}$  なる。)

$S$  : ろ紙による拭き取り面積 ( $\text{cm}^2$ )

$\epsilon_1$  : 機器効率

$\epsilon_2$  : ろ紙の線源効率

とした場合、表面密度  $A$  を求める式は、 $A = \text{⑳}$  と表される。

第2問 以下の問いに答えよ。

- (1) 以下の文章中の□に入る適切な語句を番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には、同じ語句が入る。

〔解答例〕 ⑮—東京

作業空間における放射線量を測定するためにはサーベイメータと呼ばれる小型で可搬型の測定器が用いられている。光子による空間線量の測定に用いるサーベイメータとしては電離箱式、GM管式及びシンチレーション式が代表的なものである。

電離箱式サーベイメータは、入射した放射線により電離箱内で生じた微小な電荷、すなわち電離箱内の空気の電離量を測定することから①の定義に合った測定である。

GM管式サーベイメータは、入射した放射線により封入ガスが電離され、印加されている電場により加速されて他の封入ガスを電離させることにより②が引き起こされ、これによる電気パルスを計数する。

シンチレーション式サーベイメータは、蛍光物質中に入射した光子による発光を計測する。シンチレータによる発光を③を用いて電気信号に変換する。発光量は入射した光子が与えるエネルギーに④する。蛍光物質のひとつであるNaI(Tl)は⑤を有するために表面を金属の密閉容器で覆っていることから低エネルギー領域の測定には不向きである。

電離箱式、GM管式及びNaI(Tl)シンチレーション式の3つのサーベイメータのうちで検出感度が最も高いものは⑥であり、最も低いものは⑦である。

放射線業務従事者の外部被ばく線量の測定を行う場合には、使用する個人線量計の種類を適切に選択するとともに、被ばくの状況に応じて個人線量計を装着する必要がある。個人線量計は、通常は⑧の各部位（⑨及び頸部、⑩及び上腕部、⑪及び大腿部）への均等被ばくを想定して、⑩に着用するが、女子は⑪（妊娠不能と診断された者、⑫を事業者に⑬で申し出た者を除く。）に着用する。

なお、⑧不均等被ばくの場合には、前記に加えて、⑭放射線を受けるおそれのある部位にも個人線量計を着用する。

- (2) 放射線業務従事者の光子による外部被ばく線量を測定するために、放射線業務従事者が一定期間着用して使用するパッシブ型の個人線量計の名称を2つ記せ。

〔解答例〕 ア) 日本、イ) 米国

- (3) 上記(2)に名称を記した個人線量計について、測定線種に関する事項を除いた特徴を各々の個人線量計について2つ記せ。

〔解答例〕 ア) 日本ー東京、大阪、イ) 米国ーワシントン、ニューヨーク

第3問 以下の問いに答えよ。なお、答えを導いた計算式も示せ。

- (1) 分解時間が  $100\ \mu\text{s}$  の GM 計数管で、ある試料を計測したところ、正味の計数率として  $2000\ \text{cps}$  を得た。この試料の真の計数率の推定値 (cps) はいくらか。
- (2)  $10\ \text{MeV}$  のエネルギーを放出する核種 A がある。この核種 A が空気中で完全に停止するまでに生成されるイオン数はいくらになるか。

第4問 以下の問いに答えよ。なお、答えを導いた計算式も示せ。

- (1) 物理学的半減期 60 日の放射性核種が体内に取り込まれ、120 日後に体内に残留していた全放射能を測定した結果、放射能は  $1/8$  に減っていた。この核種の生物学的半減期はいくらになるか。
- (2) 時定数を 10 秒に設定した GM 管式サーベイメータの指示が 1200 cpm を示した。このときの統計的揺らぎによる相対誤差は何%になるか。

第5問 放射線影響に関する以下の文章について、文章中の□に入る適切な語句又は数値を選択肢から選び、番号とともに記せ。なお、同じ番号には、同じ語句が入る。

〔解答例〕 ㉑－東京

- (1) 放射線の影響は、現れる対象により分類すると、被ばくした本人に現れる□①と、子どもや孫などの子孫に現れる□②に分けることができる。妊婦が被ばくし、生まれた子どもに影響が現れる場合は、胎児期に被ばくしたことで現れる影響であり□①に分類される。胎児期は放射線感受性が高く、また影響の現れ方に時期特異性があることがわかっている。受精後0～2週の被ばくでは□③の起こるリスクが高く、受精後2～8週の被ばくでは□④の生じるリスクが高い。受精後8～15週の被ばくでは□⑤の生じるリスクが高くなる。ヒトの□②のリスクは、□⑥線量法により推定されている。□⑥線量が大きいほど、□②のリスクは□⑦なる。国際放射線防護委員会(ICRP)の2007年勧告では、ヒトにおける□⑥線量として□⑧を用いている。
- (2) 放射線の影響は、生じるメカニズムの違いにより分類する場合もある。□⑨は、臓器や組織を構成する細胞の死滅や変性によって起こる症状である。一方、□⑩は、細胞の遺伝子の変異することで起こる影響である。□⑨では、この線量以下では影響が生じない□⑪線量が存在する。放射線感受性には個人差があり、ICRP 2007年勧告では、全体の□⑫%の人に症状が現れる線量を□⑪線量としている。
- (3) 放射線照射により誘導される細胞死は、細胞周期の観点から、□⑬死と□⑭死に分類される。コロニー形成法は、細胞の□⑬死を定量化する方法である。一般に、哺乳類培養細胞に□⑮放射線を照射したときのコロニー形成法による生存曲線(横軸:吸収線量/縦軸:生存率(対数))は、肩のある右下がりの曲線になる。一方、□⑯放射線を照射したときの生存曲線はほぼ直線である。□⑮放射線では、低線量率で照射したときの方が、高線量率での照射よりも生存曲線の傾きが緩やかになることが知られており、これを線量率効果という。線量率効果は、細胞が放射線による損傷から回復することによって生じると考えられている。細胞の損傷からの回復には、□⑰回復と□⑱回復がある。線量率効果は、主に前者によると考えられている。

(4) 放射線の生物効果が、放射線が直接ヒットした細胞ではなく、時間的・空間的に離れた細胞に現れる現象を非標的効果という。⑲効果は、空間的に離れた細胞に現れる非標的効果である。この効果は、培養細胞の1%程度に $\alpha$ 粒子がヒットする平均線量で $\alpha$ 線を照射したときに、30%以上の細胞に姉妹染色分体交換が観察されたことから見出された。細胞が培地中に分泌する可溶性因子、あるいは隣接する細胞どうしをつなぐ⑳結合を介して、放射線がヒットした細胞からヒットしていない隣接細胞へ何らかのシグナルが伝達され、二次的な応答を引き起こすと考えられている。

【選択肢】		
1	2	3
4	5	6
1 Gy	2 Gy	3 Gy
4 Gy	5 Gy	6 Gy
器官形成異常	白内障	不妊
白血病・がん	骨髄障害	精神発達遅滞
胃腸管障害	流産	バイスタンダー
適応応答	亜致死損傷	潜在的致死損傷
半致死	コンプトン	等価
実効	ゲノム不安定性	間期
倍加	高 LET	低 LET
しきい	遺伝性影響	組織反応
身体的影響	晩発影響	急性影響
確率的影響	低く	高く
ギャップ	密着	接着
酸素	希釈	増殖

第6問 放射線障害の防止の観点から、以下の語句について簡潔に説明せよ。

(1) 発がんの多段階仮説

(2) アポトーシス

(3) 放射性物質の体外への排出方法 (体内除染)

(4) 実用量

(5) 生物学的な線量推定方法

【メモ】