

第 57 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7年3月4日

第1問 次の問いに答えよ。

- (1) 以下の文章中の□に入る適切な語句、式又は核種名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〕 ⑩—東京

放射線計測に用いられている GM 計数管は、入射した放射線によって生成された電子—イオン対が増幅されて大きな出力パルスとなり計数できるようになる。しかし、GM 計数管には放射線が入射しても出力パルスが発生しない ① があり、その後、一定の波高以上の出力パルスとして検出できるようになるまでに 100 (μs) 程度の ② を有するため、計数率が大きい場合には ③ を考慮する必要がある。GM 計数管は入射する放射線の量の増加に伴って計数率が増加するが、大量の放射線が入射した場合には、逆に計数率が減少、あるいは計数しなくなる ④ 現象を生じる。

GM 計数管により測定された計数率を n (s^{-1})、② を τ (s) としたとき、単位時間 (s) に有効であった時間の割合を表す式は ⑤ となる。したがって、③ を補正した計数率を求める式は ⑥ となる。

GM 計数管では印加電圧が増大しても計数率がほとんど変化しない ⑦ 特性を利用する。GM 計数管を使用する場合の印加電圧は、この ⑦ 領域の ⑧ 部分から ⑦ 領域長さの ⑨ の電圧に設定するとよいとされている。GM 計数管が劣化すると ⑦ 領域の傾斜が ⑩ になるとともに ⑦ 領域長さが ⑪ なる傾向がみられるようになる。

GM 計数管と同様にガス増幅による電子なだれを利用した検出器として比例計数管が挙げられる。充填ガスとしてアルゴン 90%とメタン 10%を混合した ⑫ が用いられることが多い。ガス増幅率は一定であることから、最初に発生した電子—イオン対の数に比例した大きさの出力パルスが得られるため入射した放射線の計数だけではなく、そのエネルギーも測定可能である。

比例計数管により α 線と β 線が混在する線源を測定したときには、印加電圧が低い場合に ⑬ が測定される領域が、印加電圧が高い場合に ⑭ が測定される領域がある。

中性子測定用として $^{10}\text{BF}_3$ ガスや ^3He ガスを充填ガスとした比例計数管が用いられる。これらが中性子を検出するために利用する核反応は、 $^{10}\text{B}(\text{n}, \text{⑮}) \text{⑯}$ 及び $^3\text{He}(\text{n}, \text{p})^3\text{H}$ である。これらの比例計数管の周りをポリエチレン等の減速材で覆い、熱中性子から 20 MeV 程度までのエネルギー範囲にわたって線量当量率を測定できるよう

にした中性子サーベイメータを⑰という。また、水素を多く含む充填ガスを利用した比例計数管は、水素の⑱を利用して高速中性子の測定が可能である。

- (2) 比例計数管では β 線の正確なエネルギー測定が困難であるが、その理由を記せ。

第2問 以下の文章中の□に入る適切な語句、核種名又は数値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

(1) 我が国の再処理施設における放射性廃棄物の処理においては、放射性液体廃棄物の処理方法の一つとして蒸発処理が行われている。これは放射性液体廃棄物を加熱し、水などの揮発性成分を蒸発させ□①する処理方法であり、処理前後の放射能濃度を比して求める□②が大きな値となる。放射性気体廃棄物の処理として、放射性の固体又は液体の微粒子を含んだ□③も気体廃棄物として扱い、この捕集除去には□④が用いられ、放射性ヨウ素の除去には□⑤が用いられる。環境への放出時には、影響を小さくするため地上高の□⑥排気筒から放出する。放射性気体廃棄物として排出される放射性物質のうちで放射エネルギーが最も多い核種は□⑦である。

(2) 我が国の核燃料施設における放射線業務従事者の線量限度は、要約すると次のとおりである。

イ) 実効線量については、

- 一 原子力規制委員会の定める□⑧につき□⑨ミリシーベルト
- 二 一年間につき□⑩ミリシーベルト
- 三 女子(□⑪、妊娠の意思の無い旨を事業者等に□⑫で申し出た者及び妊娠中の女子を除く。)については、前記一及び二のほか、四月一日、七月一日、十月一日及び一月一日を始期とする各三月間につき□⑬ミリシーベルト
- 四 妊娠中である女子については、前記一及び二のほか、本人の申出等により事業者等が妊娠の事実を知ったときから□⑭するまでの間につき、□⑮について□⑯ミリシーベルト

ロ) 等価線量については、

- 一 眼の水晶体については、原子力規制委員会の定める□⑧につき□⑨ミリシーベルト及び一年間につき□⑩ミリシーベルト
- 二 皮膚については、一年間につき□⑰ミリシーベルト
- 三 妊娠中である女子の□⑱については、本人の申出等により事業者等が妊娠の事実を知ったときから□⑭するまでの間につき、□⑲ミリシーベルト

ハ) 緊急作業においては、実効線量について□⑨ミリシーベルト、眼の水晶体の等価線量について□⑳ミリシーベルト及び皮膚の等価線量について□㉑シーベルト

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) 50 MBqの ^{137}Cs 標準線源を用いてデジタル表示式のポケット線量計を校正した。この時の条件として標準線源の距離を50 cm、照射時間は15分とした。線量計の表示が $5\text{ }\mu\text{Sv}$ を示した場合の校正定数はどのくらいになるか。

ただし、 ^{137}Cs の1 cm線量当量率定数は $0.09\text{ }\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{MBq} \cdot \text{h})$ とする。

- (2) 空気中での飛程が2.5 cmの α 線は水中における飛程(μm)はどのくらいになるか。

ただし、空気の密度は 0.0014 g/cm^3 、水の密度は 1 g/cm^3 とする。また、空気の質量数

A_{Air} に対する水の質量数 A_{Aq} の比の平方根の値 $\sqrt{\frac{A_{\text{Aq}}}{A_{\text{Air}}}}$ を0.8とする。

第4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〕 ⑥ー東京

γ線の遮蔽において、特に線束が広い場合は□①□が多くなるため、□②□を考慮する必要がある。□②□係数は、遮蔽体が厚いほど□③□くなるほか、遮蔽体の□④□や□⑤□的条件にも依存する。

- (2) 生体組織がα線によって照射されたときに1グラム当たり 2×10^{-5} Jのエネルギーを吸収した。このとき生体組織が受けた等価線量(mSv)はいくらになるか。なお、答えを導いた計算式も示せ。

第5問 放射線の障害と防護に関する以下の文章について、の部分に適した語句又は数字を番号とともに記せ。なお、同じ番号には同じ語句が入るものとする。

〔解答例〕 ㉑－東京

- (1) 現行の放射線防護は、①モデルを基盤とし、線量当たりの②的影響が一定であることを仮定する。この枠組みは、線量や線量率、集積線量を含む被ばく状態にかかわらず、防護量の比較や③を可能としている。実効線量は、放射線の種類並びに臓器・組織の影響を全身被ばく相当に換算した防護量であり、リスクを近似する指標として防護の④化に利用できるが、年齢、⑤、集団特性などに依存しないため、特定個人のリスク評価には適さない。
- (2) 環境中の放射性セシウムは、外部被ばくと内部被ばくの両面で被ばく線源となるが、体内への取り込みは⑥の摂取に依るところが大きく、⑦を通じた経気道的な摂取は相対的に低レベルである。放射性セシウムの体内分布は、同族の⑧と同様に筋肉への滞留が認められるが、全身に均一分布する動態モデルによって推定される。その体内残留量の体外測定には、非破壊的な計測法として⑨が利用される。内部被ばく線量は、核種の残留性を考慮した⑩実効線量によって評価されるが、暴露期間が不確定な放射線業務従事者においては、摂取時から⑪年の期間を想定して算出される。
- (3) 消化管は放射線⑫性が高く、重大な障害は致死性的となる。 6 Gy を超える全身被ばくでは、造血系が重い障害を受けて⑬消失に至る一方、小腸においては放射線性消化管症候群（GIS）を発症する。GISでは⑭や出血などの症状が現れ、2週間以内にショック症状などを伴い死亡に至る。小腸の粘膜は絨毛と⑮から構成され、⑮には腸上皮⑯細胞が存在する。 10 Gy を超える被ばくでは⑯細胞が死滅し、絨毛への細胞供給ができずにGISに陥る。

- (4) 生物学的線量評価法は、採血の⑬や、被ばく線量の目安、被ばく者数などによって選択される。国内では、2動原体や⑭染色体のような不安定型染色体の形成を目安とした線量評価法が普及している。また、早期染色体凝縮(PCC)法は、⑮染色体のみを指標とし、短期間で高線量域を評価するのに有効であり、国内で発生した⑯事故の線量推定で採用された。細胞質分裂阻害⑰(CBMN)法では、サイトカラシンBによる二核細胞の誘導によって形成される⑰の出現頻度を解析する。災害時に多数の被ばく傷病者が発生する場合、緊急度や重症度に応じたトリアージが検討されるが、その判定には、⑮染色体解析法や細胞質分裂阻害⑰(CBMN)法が選択肢となる。

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) ICRP 勧告
- (2) 器官形成期
- (3) DNA 二本鎖切断の修復機構
- (4) 晩発影響
- (5) 被ばく事象発生直後に収集すべき情報

【メモ】

【メモ】