

第 56 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6年3月1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、数値又は核種を番号とともに記せ。
なお、同じ番号の□には、同じ語句等が入る。

〔解答例〕 ⑮－東京

トリチウムの原子核は1個の□①と□②個の中性子から構成され、半減期12.3年で□③壊変して□④となる。その際に放出される最大エネルギーは□⑤ keV と非常に低い。

地球環境中に存在するトリチウムの起源は、過去の□⑥によるもの、原子力施設からの放出によるもの、□⑦によるものに大別され、そのほとんどがトリチウム水として存在している。

液体シンチレーションカウンタを用いてトリチウムの測定を行う場合には、液体シンチレータに測定試料を加えて溶解あるいは懸濁させる。この中で発生した□③線により生じるシンチレータの蛍光を□⑧を用いて検出し、電気信号として測定する。

液体シンチレーションカウンタを用いた測定では、試料自体による放射線の□⑨や散乱がなく、幾何学的効率は□⑩%であるためトリチウムや α 線放出核種の測定に有用である。

しかし、試料自体あるいは混在する物質によりクエンチングが生じると、計数効率の低下やシンチレーションスペクトルの波高分布の□⑪側への変位を引き起こす。このクエンチングの主たるものは、□⑫クエンチングと□⑬クエンチングである。また、シンチレータとの反応により偽計数を生じさせる□⑭が発生することがある。

- (2) 施設から放出される空気中の水蒸気状トリチウムの捕集を行う方法について、簡潔に3つ記せ。

第2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、数値又は核種を番号とともに記せ。
なお、同じ番号の□には、同じ語句等が入る。

〔解答例〕 ⑪－東京

軽水炉型原子力発電所の燃料に含まれる核種である□①の核分裂により ^{137}Cs が生成される。 ^{137}Cs は□②年の半減期で壊変し、その約94%は□③となる。この□③は壊変により□④ MeV の γ 線を放出して ^{137}Ba となるが、 γ 線を放出する代わりに、そのエネルギーを軌道電子に与えて電子を放出する場合があります、これを□⑤という。

中性子は□⑥を有しないため直接に検出するのではなく、核反応や衝突により生じる□⑦を検出する事によって間接的に検出する。

^{10}B や ^3He は熱中性子に対して大きな□⑧を有するため、 $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)^7\text{Li}$ 反応や $^3\text{He}(\text{n}, \text{p})^3\text{H}$ 反応を利用して検出することができる。 ^3He ガスを利用した比例計数管は熱中性子に対して高い感度を有するので、この周りをポリエチレン等の□⑨を多く含む物質でとり囲んで高速中性子を□⑩させることにより検出することができる。

- (2) 以下の①から⑤は放射線業務従事者の外部被ばくによる線量を測定するために用いられている個人線量計について記したものである。それぞれの内容に該当する個人線量計の名称を記せ。

〔解答例〕 ⑥－東京

- ① 熱刺激による発光を利用するもの
- ② 放射線損傷を利用するもの
- ③ ラジオフォトルミネセンスを利用するもの
- ④ 臭化銀の感光を利用するもの
- ⑤ 輝尽性発光を利用するもの

また、以下のイからホに挙げた特徴に合致する個人線量計の番号を前記の①から⑤の中から選んで記せ。

〔解答例〕 へ－⑥

- イ：フェーディングが最も大きいもの
- ロ：再測定不可能なもの

- ハ：青色の発光を読み取るもの
- ニ：エッチング処理を行うもの
- ホ：紫外線を利用するもの

第3問 次の問いに答えよ。なお、答えを導いた計算式も示せ。

- (1) 5 GBq の密封された ^{137}Cs 線源から 5 m 離れた場所で 2 時間作業をしたときの作業者の実効線量 (μSv) はいくらになるか。

ただし、 ^{137}Cs 線源の実効線量率定数 k は 0.080 とし、実効線量率定数の単位も示せ。

- (2) 10 グラムの ^{226}Ra を密封容器に入れて 50 日間放置をした。このとき子孫核種 ^{222}Rn の標準状態での体積 (cm^3) はどのくらいになるか。

ただし、 ^{226}Ra の半減期は 1600 年、 ^{222}Rn の半減期は 3.82 日とし、1 mol は 0°C 1 気圧において 22.4 l とする。

第4問 次の問いに答えよ。なお、答えを導いた計算式も示せ。

- (1) 1壊変に γ 線を1本放出する900 MBqの線源を3 m離れた位置で、GM管式サーベイメータを用いて測定した結果1分間あたり3100カウントを計測した。
このときGM管式サーベイメータで検出する γ 線の割合(%)はいくらになるか。
ただし、GM管式サーベイメータに入射する面積を20 cm²とし、測定時のバックグラウンドは1分間あたり100カウントとする。
なお、 γ 線の放出割合は100%、球の表面積は $4\pi r^2$ として計算せよ。
- (2) ⁹⁰Srの生物学的半減期(Tb)を50年としたとき、実効半減期(Te)は何年か。
ただし、⁹⁰Srの物理学的半減期(Tp)は28年とする。

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、に入る適切な語句又は数字を番号とともに記せ。なお、同じ番号のには同じ語句等が入る。

〔解答例〕 ㉑－東京

- (1) 放射線障害の防止のために、個人や公衆の許容される被ばく量の上限値である線量 ① が定められている。その値と比較される個人の実効線量は、放射線の ② とエネルギーを考慮した放射線加重係数と、各組織/臓器の障害発生リスクを勘案した組織加重係数によって重み付けし算定される。組織加重係数は、白血病や甲状腺がん等の ③ 的影響の起こりやすさに基づいた係数であるため、 ④ や不妊障害のような組織反応では用いられない。
- (2) 複数の組織が同時に被ばくした事案として、甲状腺（組織加重係数： $W_T = 0.05$ ）における内部被ばくと、食道（ $W_T = 0.05$ ）並びに皮膚（ $W_T = 0.01$ ）の一部（全体の20%）への外部被ばくを考えると、各組織の等価線量がいずれも100 mSvであった場合の実効線量（E）は、 $E =$ ⑤ mSv と計算される。この値は定義上、 ⑥ に均等被ばくした場合に相当する。
- (3) 内部被ばくにおいては、実効線量の評価に先立ち、放射性核種の体内摂取量の推定が重要である。主要な核種の摂取量は ⑦ の関数で表した体内動態モデルによって評価される。例外として、閉塞空間で濃縮された ⑧ の肺への吸入に関しては、空気中における ⑧ の放射能濃度（Bq/m³）を代表値として管理を行う。原子力発電所の過酷事故を想定した場合、周辺公衆の内部被ばくをもたらす経路となるのは、放射性物質で汚染された食品・飲料水等の経口摂取のほかに、プルームに含まれる放射性核種の吸入と ⑨ から再浮遊した核種の吸入である。
- (4) 放射線が生体に入射したときの ⑩ 分布は、LETの違いによって顕著に異なる。低LET放射線のX線や、 γ 線、 ⑪ 線は、身体表面付近で ⑫ の付与が最大となる。これに対して、 α 線や重粒子線のような高LET放射線は、体表面から深部に到達した飛程の終点で ⑬ ピークを示す。そのピーク近傍では、水の電離と ⑭ が最大化し、 ⑮ 種が高密度で生成する。 ⑮ 種に含まれるが、フリーラジカルに分類されない有害な ⑯ を生成することもある。
- (5) 被ばく集団を追跡する ⑰ 調査の意義は、放射線誘発がんの発生リスクを直接に推計することにある。リスク評価で必要とされるサンプルサイズは、線量の ⑱ 乗に逆相関して増加するため、被ばく線量の減弱に従って、暴露群と対照群の差が検出され難くなる。発がんリスクと被ばく線量との関連は、絶対リスクと相

対リスクという 2 つのモデルによって表される。絶対リスクモデルでは、一定割合で出現する自然発がんの発生率に、放射線誘発がんの発生率が ⑱ されることを仮定する。また相対リスクモデルでは、⑳ とともに増加する自然発がん率に比例して、放射線発がんが増加することを想定している。

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) ALARA
- (2) 預託線量
- (3) 骨への集積性と影響
- (4) 幹細胞の障害
- (5) 皮膚に現れる症状

【メモ】

【メモ】

