

## 第 50 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。

(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。

平成30年3月13日

第1問 次の文章の□の部分に入る適切な語句又は数値を記せ。なお、同じ番号の空欄には同じ語句又は数値が入る。

〔解答例〕 ①－β線

(1) □①線は□②の原子核である。原子核の半径は、原子の大きさに比べて小さく、おおよそ□③mである。

(2) □④の小さい原子核のうち□②の原子核(□①粒子)は□⑤あたりの□⑥エネルギーが飛びぬけて大きい。

(3) □④の大きな原子核は、エネルギー的に不安定であり、核分裂することでエネルギーを□⑦して、より□⑧な状態となるが□⑨力や□⑩張力の影響でそれ以上は分裂できない。

(4)  $^{226}\text{Ra}$  の□①壊変を式で表すと、  
 $^{226}\text{Ra} \rightarrow \square\text{⑪} + \square\text{⑫}$  又は  $\square\text{⑪} + \square\text{⑬}$   
となる。

壊変する前の $^{226}\text{Ra}$ を□⑬核種と呼び、□⑪を□⑭核種と呼ぶ。このとき $^{226}\text{Ra}$ から放出される□①線のエネルギーは□⑮MeVである。また□①粒子が $^{226}\text{Ra}$ の原子核内に閉じ込められているときの□⑨力はおおよそ□⑯MeVなので古典力学的には核外には出ることができない。しかし□①壊変によって□①線が放出されるのは□⑰効果によって起こる。

(5) 中性子は物質中では□⑱電離することはなく、原子核との反応で□⑲粒子が放出される際に物質と□⑳的に相互作用する。

第2問 次の文章の□の部分に入る適切な語句、数値又は式を番号とともに記せ。なお、同じ番号の空欄には同じ語句、数値又は式が入る。

〔解答例〕 ㉑－β線

- (1) 外部被ばくの測定は、被ばくする可能性がある部位を□①部と手や足などの□②部に大別して考える必要がある。管理区域内での一般的な作業では□①部については□③に照射されることが多いので、□④部で測定すればよい。ただし、妊娠可能な女子においては□⑤部とする。
- (2) この場合、□①部の被ばく線量は、□⑥線量当量の測定を行って□⑦線量とする。同時に□⑧線量当量の測定も行う必要があるが、同じ□⑨で実施されることが多い。
- (3) 防護衣などにより□①部が□⑩をする場合は、線量計を2つ以上装着する必要がある。
- (4)  $^{241}\text{Am}$ -Be線源は中性子源として知られている。これは $^{241}\text{Am}$ を $\alpha$ 線源として用いて□⑪反応を利用したものである。この反応により発生する中性子のエネルギーは平均□⑫MeVである。
- (5)  $^{252}\text{Cf}$ は□⑬核分裂をおこす核種である。 $\alpha$ 線と $\gamma$ 線、低エネルギーのX線の放射を伴い、1g当たり毎秒 $2.3 \times 10^{12}$ 個の中性子を発生し、1個の核の□⑬核分裂により平均□⑭個の中性子を放出する。また、 $^{252}\text{Cf}$ の半減期は□⑮年と比較的短い。
- (6) 中性子は□⑯係数が大きいことから□⑰に与える影響は大きい。外部放射線による被ばくの防護は、□⑱、□⑲及び□⑳の3つの方法がある。これを外部放射線被ばくの防護三原則と呼ぶ。

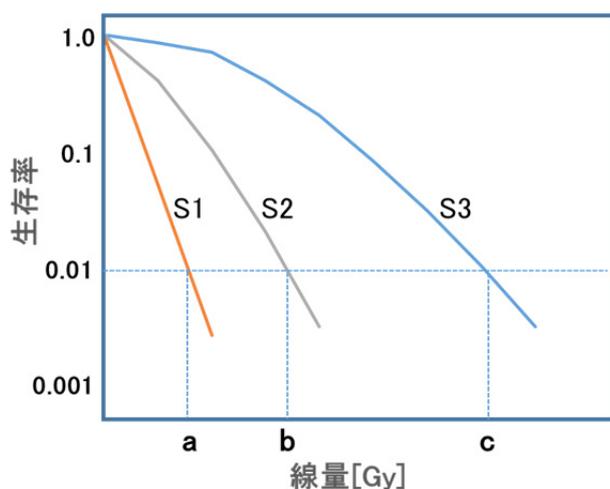
第3問 次の文章の□の部分に入る適切な語句又は数値を番号とともに記せ。なお、同じ番号の空欄には同じ語句又は数値が入る。

〔解答例〕 ⑪-β線

- (1) ロングカウンタは  $\text{BF}_3$  比例計数管の周囲をパラフィン等の減速材で包んだ構造を持つ。高速中性子は、□①化され比例計数管に入射して計測される。
- (2) ポリエチレンなどの減速材で比例計数管を覆った構造をもつサーベイメータは、レムカウンタとも呼ばれ、□②の広い範囲で  $1\text{cm}$  線量当量率を直読できる。
- (3) GM 計数管では 1 次□③の数によらず同じ程度のパルス波高となるので、エネルギーに関する情報は得られない。
- (4) GM 計数管は□④時間が長いので、計数率が大きくなると計数の数え落としが大きくなり、分解時間に基づく補正が必要となる。
- (5) Ge は原子番号が大きいので  $\gamma$  線との□⑤効果が顕著となる。特に Ge 半導体検出器はエネルギー分解能に優れている。
- (6)  $\text{NaI(Tl)}$  シンチレータは、1 個の電子・正孔対を作るために□⑥ eV の放射線エネルギーが吸収される。
- (7)  $\text{NaI(Tl)}$  は、空気中の水分を吸収して□⑦するので検出器としてはそのまま使用できない。したがってアルミケースに納められるために、これにより遮へいされることで  $\alpha$  線や  $\beta$  線の測定はできない。
- (8) □①をヨウ化エチルに照射すると  $^{127}\text{I}(n, \gamma)^{128}\text{I}$  反応の際、分液漏斗中で水と一緒に振ると□⑧エネルギーにより化学結合が切断されることで  $^{128}\text{I}$  が水相に抽出される。
- (9) 除染作業を行う場合は、必ず保護衣や防護具等を着用すること。特に非密封の放射性物質の場合は、放射性物質からの汚染□⑨を防止して、吸入する可能性を抑えるために出来る限り□⑩法で行う。

第4問 放射線被ばく影響に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 哺乳動物細胞について、被ばく線量と生存率の関係を以下に図示した。ここに示された3つの生存曲線(S1、S2、S3)が、X線、 $\alpha$ 線、高速中性子線のいずれに相当するのかを答えよ。なお、この生存曲線は空気中で得られたものとする。また、生存率が0.01であるときの高速中性子線のRBEを図中に与えられたa、b、cを線量値として文字式で表せ。



- (2) 放射線が誘発する発がんリスクを推定する場合、その発生頻度や程度に影響する放射線以外の要因(交絡因子)を事前に考慮しておく必要がある。ヒト集団の被ばく影響評価において、優先して調整すべき影響要因を下記の一覧から5つ選択せよ。

<影響要因の候補>

人種、BMI、被ばく時年齢、性別、学歴、健康状態、気候、喫煙、血液型、職業、生活環境、家族(病)歴、塩分摂取量、緯度

第5問 放射線障害に関わる次の文章の中で□の部分に適した語句を番号とともに記せ。なお、同じ番号の空欄には同じ語句が入るものとする。

〔解答例〕 ㉑－東京

- (1) 放射線による細胞死は、被ばく後も細胞代謝が継続し、1回もしくは数回の細胞分裂が進んだ後に細胞死に至る□①死と、被ばく直後に分裂を停止して機能不全し細胞死に至る□②死に大きく分類される。近年では、細胞形態の特徴や分子生物学的、生化学的な知見に基づき、□③、□④、オートファジー細胞死あるいはそれ以外の多様な細胞死の経路の存在が確認されている。
- (2) 高 LET 放射線によって形成された遺伝子損傷は回復が困難である。これは□⑤密度が高いことによる直接効果によって修復されにくい□⑥損傷などが形成されるためである。□⑦効果や防護剤の効果、□⑧効果が小さいことも高 LET 放射線の特徴である。
- (3) 放射性核種が体内に取り込まれたとき、その化学的性状に依存して体内での不均一性や□⑨経路の違いが生じ、被ばく影響が現れる□⑩や器官に核種特異性が生まれる。□⑪水は全身へ均一に分布するが、有機結合した□⑪は体内への蓄積性が付与されるため化学的性状の理解は重要となる。甲状腺への特異的な集積を特徴とする□⑫は、甲状腺の機能低下や甲状腺がんを発生する原因となる。ストロンチウムは、□⑬と代謝が似ており、□⑭へ沈着する傾向が高い。体内へ吸収移行された可溶性プルトニウムも最終的には□⑭や肝臓へ移行し、□⑮線による長期間の被ばくをもたらす。
- (4) 個人線量の測定が適切に実施できない場合には、□⑯的線量評価が行われる。検体として□⑰を用いた染色体異常を指標とした計測は最も利用されている。この操作手法として、G バンド法や、蛍光標識を利用する□⑱法が汎用される。また、放射線が歯の□⑲質に誘発した不対電子の蓄積量を□⑳共鳴によって定量する ESR も実用的な線量評価手法である。

第6問 放射線防護の観点から、下記の対になった語句の違いを簡潔に説明せよ。

- (1) DNA 損傷における「一本鎖切断」と「二本鎖切断」
- (2) 突然変異における「自然発生」と「放射線誘発」
- (3) 細胞分裂遅延における「S期」と「M期」
- (4) 組織感受性における「小児」と「成人」
- (5) 胎内被ばくにおける「着床前期」と「器官形成期」