

## 第 53 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。
- (ハ) 第6問については、6問中4問を選択して解答すること。

令和3年3月5日

第1問 次の文章の□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、同じ語句又は数字が入る。

〔解答例〕 ㉑—東京

- (1) 水などの物質を構成する最小の要素は□①□と呼ばれる。この□①□は各種の□②□から構成されているが、その中心は原子核として□③□の電荷をもつ□④□と、電荷を持たない□⑤□から構成されている。また、□④□の□⑥□は□⑦□で表されることもある。□②□の化学的または物理的性質としては、□④□と□⑤□の□⑥□や原子核の周りの電子の□⑥□で決まり、言い換えれば□②□の□⑦□と質量数とで決まる。
- (2) 例えば、□②□の構成で、1つの□④□に2つの□⑤□を持った原子核を持つ水素は、□⑧□と呼ばれ、半減期□⑨□年、最大エネルギー18.6keVの□⑩□線を放出する放射性物質である。
- (3) □②□の大きさはおよそ□⑪□mである。これに比べて原子核の大きさはずっと□⑫□、その大きさはおよそ□⑬□mである。
- (4) 原子核の周りを回る電子の軌道は、原子核に近い軌道順にK軌道、L軌道、M軌道・・・と呼ばれ、原子核からの□⑭□エネルギーは最も原子核に近いK軌道を通る電子が□⑮□い影響を受ける。また、□②□1個の質量は非常に□⑫□、□②□の質量のほとんどは原子核が占めている。
- (5) ウランやトリウムなど核燃料物質の□⑦□が□⑯□以上の原子核を持つ□②□は、□⑤□や高エネルギーを持つ□⑰□と衝突すると、質量数がおおよそ□⑱□とおおよそ□⑲□の原子核に分裂し、□⑳□が生じる。

第2問 次の文章の□に入る適切な語句、数字又は文字式を番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には、同じ語句、数字又は文字式が入る。

〔解答例〕 ㉑－東京

- (1) 中性子線用のエリアモニタ検出器としては、主として□①□や□②□が材料として用いられる。□①□は、□③□に対しては、□④□感度である。しかし、□⑤□に対しての感度は、低いために□⑥□やポリエチレンを□⑦□材として用いることで、□⑤□を□③□化させ、□⑧□を□④□める方法が取られる。また、中性子線用の検出器としては、ポリエチレンの□⑦□材の周りに鉛型シールドを取り付けることで、□⑨□反応を利用して 20MeVを超える□④□エネルギーの中性子に対する□⑩□を改善したのものもある。
- (2) 放射線が□⑪□中を通過すると□⑪□が□⑫□され、□⑬□イオンと電子が生成する。しかし、このままの状態では生成した□⑬□イオンと電子は直ぐに□⑭□結合して元の状態に戻ってしまう。そこで電離箱では、中心の電極には□⑬□極、外側については□⑮□極として電圧をかけると、生成した□⑬□イオンと電子のほとんどを集めることができる。こうした□⑯□信号を□⑰□として取り出すことができるものを□⑱□型電離箱といい、また、□⑱□をパルスとして取り出すパルス型電離箱もある。この□⑬□イオンと電子を一次イオン対といい、この一対のイオン対を作り出すのに必要とする放射線エネルギーを□⑲□値といい、その値の放射線エネルギーは電離箱に充填されている気体が空気の場合はおおよそ□⑳□eVである。

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)  $^{137}\text{Cs}$  線源を用いて電離箱式サーベイメータを校正した場合の校正定数を求めよ。ただし、3か月前に購入した時の  $^{137}\text{Cs}$  線源は  $5\text{GBq}$  であり、 $^{137}\text{Cs}$  線源から  $2\text{m}$  の距離での時間当たりの線量当量率は  $0.111\text{mSv} \cdot \text{h}^{-1}$  であったとする。また、いずれも散乱線の影響は考慮しないこととする。

なお、 $^{137}\text{Cs}$  の  $1\text{cm}$  線量当量率定数は  $0.0927\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  として計算に用いよ。

- (2) 無担体  $^{14}\text{C}$  の放射能が  $20\text{GBq}$  あったときの重量はいくらか。ただし、 $^{14}\text{C}$  の半減期を  $5730$  年とする。

第4問 障害防止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、同じ語句又は数字が入る。

〔解答例〕 ⑪－日本

- (1) 我が国の放射線防護体系は、放射線の適正な利用と被ばく影響に対する防止に向けて、組織反応の防止と①的の影響を合理的に達成できるリスクへと低減させることを目的とする。この達成のために、②化、防護の最適化、③限度の適用という3つの基本原則が取り入れられている。さらにこれらは、3つの被ばく状況に分けられており、原子力発電所の操業に関しては④被ばく状況に区分される。
- (2) 防護体系では、低線量もしくは低線量率における被ばく影響が、高線量もしくは高線量率での被ばく影響よりも軽減して観察されるという現象を反映させ、直接的な定量が困難な低線量・低線量率放射線の発がんリスクを推定するための補正係数として⑤を提案している。
- (3) 内部被ばくの線量評価では、生体系の外部と内部の間、もしくは生体内部における機能的な構造の間での物質の出入りを、⑥モデルによって定量化している。この評価で扱われるヒトの生体系は、血液や組織などの物質移行を規定する複数の⑥が結合して構成されるとみなし、核種の体内動態に合わせて、胃腸管モデルや⑦気道モデルなどが設定されている。
- (4) 実効線量は実測できないため、測定可能な実用量を定義して代用している。環境モニタリングのための実用量である⑧当量は、人体の軟組織に類似した組成をもつ直径30cmの球体(ICRU球ファントム)の表面から、⑨mmの深さにおける線量当量として定義される。組織の大部分は、体表面からさらに深部に位置するので、この値を基準に校正されたサーベイメータでは、実効線量よりも⑩い数値が表示されることになる。

第5問 放射線被ばくに関する以下の文章について、に入る適切な語句、数字又は文字式を番号とともに記せ。なお、同じ番号のには、同じ語句、数字又は文字式が入る。

〔解答例〕 ②－東京

- (1) 染色体異常や細胞死の発生率と線量の関係は、低線量域における発生率が①関係を仮定した場合よりも低減する傾向があるため、次式のような直線－2次曲線(LQ曲線)とよく合致する。

$$Y = \alpha D + \beta D^2$$

ここでYは発生率を、Dは放射線量(吸収線量)を表す。この関係性はLQモデルと呼ばれ、発生率が②分布に従うことが一般に仮定される。細胞の生存率に当てはめると、放射線への感受性が高いほど、係数の比である③値は大きくなり、生存率曲線は直線的な軌跡を描くようになる。悪性腫瘍の放射線治療では、腫瘍細胞の周辺に存在する正常な組織細胞との③値の違いを利用し、腫瘍細胞を効果的に死滅させる条件で④照射が実施される。

- (2) LQモデルは、DNAあるいはそれを含む染色体構造に放射線がヒットし、⑤切断が形成される微視的な事象と対応する。この場合、(1)で示した係数⑥は、放射線の1つの飛跡が、同じDNA上に2つの⑤切断を発生させた場合における染色体異常の発生率に対応する。また、係数⑦は、2つの放射線飛跡によって、異なるDNA上にそれぞれ1つの⑤切断の形成が起因となった染色体異常の発生頻度に関係する。このようなLQモデルのような線量応答性は、原爆被ばく者における⑧病の発生率に関しても認められる。

- (3) 吸収線量が同じである場合、重大な染色体異常である⑨体染色体の発生率は、 $\alpha$ 線や⑩線の方が、 $\beta$ 線や $\gamma$ 線よりも大きい。これはDNAの⑤切断が引き起こされる頻度と相関している。防護では、放射線の種類による生物作用の違いを規定するため、線種に応じた⑪値を定めている。また、被ばく防止に役立てられる等価線量は、線種に特徴的な生物効果を考慮して、吸収線量に⑫係数を乗じて算出される。

- (4) 妊娠中の母体が被ばくする状況では、胎児の被ばくも想定するべきである。母体に取り込まれた可溶性の放射性物質は、母子間での物質交換を担っている⑬組織を介し

て、胎児へ移行する。その時点で、母体内にも放射性物質が広く分布していると推察され、それが⑭線源となるなら、外部被ばくにも注意を要する。胎児影響には時期特異性があり、受精卵の分割が進む⑮前期に被ばくすると胚死亡に至る場合がある。ヒトの場合、このしきい線量は⑯Gyと推定されている。胎生期の被ばくでは、時期を問わず、その後に⑰が誘発される可能性がある。

- (5) 原子炉が通常運転すると、⑩の発生に伴って、⑱や構造体の放射化によって放射性同位元素が生成する。防護上問題となるのは、⑱中に含まれている重水素や金属類の放射化物である。また、雰囲気中に含まれる放射性の⑲ガスは化学的に安定であり、呼吸を通して人体に侵入するが、吸着や溶解はされないまま体外へ排出される特徴がある。放射性の⑲ガスは通常の運転中も施設外に微量ながら放出されており、周辺環境への飛散状況は⑳によって監視される。

第6問 次の6つの事項の中から4つを選択し、放射線防護の観点から簡潔に説明せよ。

- (1) 素線量
- (2) 移行係数
- (3) 被ばく線量と重篤度の関係
- (4) 放射性プルームによる被ばくの特徴
- (5) 発がんのリスク推定で考慮すべき条件や要因
- (6) 原子力発電所における放射性物質の閉じ込め対策