

第 54 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。
- (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4年3月3日

第1問 次の文章の□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〕 ㉑—東京

- (1) □①粒子が物質を通過するときに□②力による□③との□④作用により、物質中の□③は□①粒子が通り過ぎるまで□②力を受ける。このとき物質は、与えられたエネルギーにより□⑤や□⑥が引き起こされる。一方、□①粒子は、物質中の□③にエネルギーを与えるため、そのエネルギーを失うことで、物質中で止まることになる。
- (2) 物質中を□①粒子が進む場合に□⑦の近傍の□⑧により□⑨されるが、このとき□⑩放射が発生することで、□①粒子は、そのエネルギーを失う。また、これに対して電荷を持たない粒子に中性子などがあるが、これは物質を直接□⑥しないので、間接□⑥粒子ともよばれる。
- (3) □①粒子が物質中で単位長さ当たり失うエネルギーを□⑪阻止能という。物質中の□③にエネルギーを与え、□⑤や□⑥作用で、単位長さ当たり失うエネルギーを□⑫阻止能といい、□⑩放射によるものを、□⑬阻止能という。また、□⑫阻止能と、□⑬阻止能の和を□⑭阻止能という。その単位は MeV/cm が用いられ、阻止能を物質の□⑮で除したものを□⑯阻止能という。
- (4) あるエネルギーを持った□①粒子が、物質中でエネルギーを失って止まるまでの距離を□⑰という。
- (5) エネルギーを持った光子が物質に入射すると、その光子が物質の軌道電子にエネルギーを与え軌道電子が原子から飛び出す現象である□⑱や光子と電子の衝突により、電子と散乱が生じる□⑲、また、光子のエネルギーが電子の静止エネルギーの2倍である 1.022 MeV 以上でないと起こらない□⑳が生じる。

第2問 次の文章の□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〕 ㉑－東京

- (1) 放射線による□①反応を利用して、物質の□①変化量と□②線量との関係を利用した線量計が用いられている。この線量計は□③線量の放射線測定には不向きのため□④線量計には用いられない。
- (2) □①線量計は主に□⑤放射線測定場で用いられる。□⑥線量計は、□⑦または□⑧を主成分とする水溶液を利用して、これに放射線が入射すると、□⑨イオンが第2鉄(Fe^{3+})イオンに□⑩する。この溶液は300 nm付近に□⑪が現れ、この強度を□⑫で測定することで、あらかじめ求めていた□⑪の強度と□②線量との□⑬曲線から□②線量を求めることができる。
- (3) □⑭水溶液も□①線量計として用いられ、放射線で□⑮イオンから Ce^{3+} イオンに□⑯される変化量を利用している。
- (4) □⑰の一種であるアラニンの□⑱結晶に放射線を照射すると□⑲が生成し、室温において安定な状態で保持される。この□⑲を電子スピン共鳴装置で測定することで□⑲の量に比例した振動波形の□⑳から線量を求めることができる。

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) ^{238}U の崩壊生成物の1つである ^{210}Po の α 線放出のエネルギーは 5.304 MeV であり、このエネルギーを放出することによって、安定元素 ^{206}Pb となる。このとき α 線放出による ^{206}Pb の反跳エネルギー (keV) を求めよ。
- (2) ^7Be は原子番号4の金属で、比重1.86、性質はMgやAlに似ている。また常温でもろく毒性がある。この ^7Be の放射能が 20 TBq あったときの質量はいくらか。
ただし、 ^7Be の半減期を 4.6×10^6 秒、アボガドロ数は $6.02\times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$ とする。

第4問 放射線影響に関する以下の文章について、

号とともに記せ。なお、同じ番号には同じ語句又は文字式が入るものとする。

〔解答例〕 ㉑－東京

- (1) 生物学的効果比 (RBE) は、放射線として X 線の生物効果を与える吸収線量を D_x とすると、比較する他の放射線によって同等の効果を与える吸収線量が D_{rad} であった場合に、 $RBE =$ という関係式によって定義される。RBE の値が 1 に相当する放射線には、線がある。
- (2) 細胞致死に関する RBE は、LET に比例して増加し、やがて 値に達する。LET が RBE の 値を超えると、細胞死を生じる以上の 付与が起こるため RBE は低下する。遺伝子 DNA に生じた 切断損傷の修復能を欠損した細胞では、LET が増加しても RBE は増加しない。重イオン線や 線のような高 LET 放射線によって効率的に細胞致死が起こるのは、修復困難な 型 DNA 損傷が形成されるためである。
- (3) 放射線による組織反応の特徴は、被ばく線量の増加に伴って、発生頻度と 度の両方が増すことにある。この反応には、白内障や不妊のほか、皮膚に発生する などの症状が含まれる。放射線に高感受性の組織には、や 、などがある。一方、肝臓や子宮などの標準的な感受性を示す組織と比較して、より抵抗性を示す組織には、や などがある。
- (4) 原爆被ばく者の 学調査の知見から、急性放射線による発がんリスクの経年変化については、肺がんや胃がんなどを含む がんと、血液のがんである 病の間には大きな差異が認められる。病では、最短で2年から3年の 期間を経て、10年を経過するまでに発症ピークを迎え、その後は減少し続ける。この推移は、被ばく時の が高いほど、初期の発生リスクは小さく、その後の減少率もより緩慢となる。がんの場合、期間は10年以上となり、がんが好発する 以降に発症リスクが顕著に高まる。

第5問 被ばく線量推定に関わる下記の記述について、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又は数字が入るものとする。

〔解答例〕 ①－東京

- (1) 人体における被ばく線量を高感度に計測する方法として、硬組織であるのENAMEL質を検体とするESR法がある。これは、不純物である炭酸イオンの放射線分解によって形成されたを検知する方法である。炭酸はENAMEL質内で非常に安定であり、成分のも起こりにくいため、生涯の被ばく積算量の見積りに役立つ。非的な測定の開発が進んでおり、放射線被ばく事故の際に、度や重症度に応じて治療や搬送の優先度を定めるトリアージのための線量評価法として期待される。
- (2) 人体に取り込まれた放射性 ^{137}Cs の体内動態に関して、2つの事例(図1と図2)を示す。

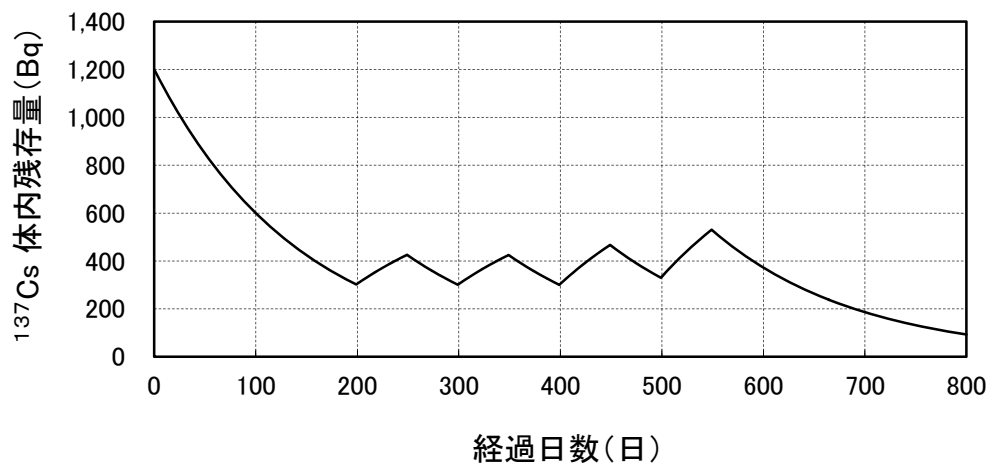


図1 大量摂取後に断続摂取した放射性 ^{137}Cs の体内残存量

図1は、1度に大量摂取した放射性 ^{137}Cs が、的半減期に従って200日目まで体外排出され続けた後に、より少量の摂取が断続的に回続き、800日目には残存放射能が100 Bqまで減じた状況を表す。1日当たりの減衰率は、的半減期を90日とすると、を $1/90$ でべき乗することで算出される。

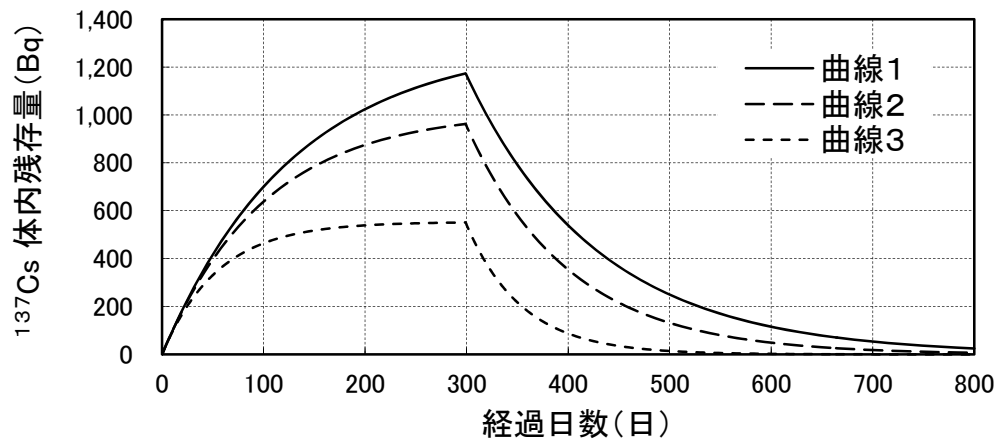


図2 継続摂取した放射性¹³⁷Csの体内残存量

図2は、放射性¹³⁷Cs (10 Bq) 含む食物を毎日摂取し続けた後に、汚染の無い食物に切り替えた条件における、年齢別に検出される体内放射能の推移である。この図から、放射性¹³⁷Csの摂取は⑨日間継続していたことが読み取れる。3つの曲線の中で、最も年齢が高い集団に該当するのは曲線⑩である。

第6問 下記の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) 放射性物質の体内侵入経路
- (2) 線量率効果
- (3) バイオドジメトリに利用される染色体異常
- (4) DNA 損傷の主な修復機構
- (5) 酸素効果
- (6) 急性死亡に至る組織障害