

第 52 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。
(問題を書し取る必要はない。)
- (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 2 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) 原子の半径はおよそ□① m のオーダーであり、原子核の半径はおよそ□② m のオーダーである。原子核は□③ の電荷を持っている。
- (2) 通常、イオン化していない原子では、□④ と等しい数の□⑤ が原子核の周りを飛び回っている。その□⑤ は□③ の電荷を持っている原子核との間に□⑥ 力によって引き合って飛び回るが、その軌道は決まった状態をとっている。この軌道は原子核に近い軌道を回っている□⑤ ほど□⑥ 力の影響を受ける。このような状態にある軌道□⑤ は、□⑥ 力によって束縛を受けるので束縛□⑤ とも呼ばれる。
- (3) 軌道□⑤ にエネルギーが与えられると、エネルギーレベルが高い外側の軌道に飛び移る現象を□⑦ という。この状態は不安定であるため、□⑤ はエネルギーレベルが低い軌道に戻ろうとする。その時に余分なエネルギーは、□⑧ や□⑨ として放出される。
- (4) 軌道□⑤ に与えられるエネルギーが大きいと、□⑤ は原子核からの束縛はなくなり□⑩ になる。この過程を□⑪ という。この□⑪ に必要な最低エネルギーは□⑫ エネルギーと呼ばれる。□⑪ 後は最外殻の□⑤ が足りなくなるので、□③ の電荷を帯びる。この状態を□⑬ イオンという。
- (5) α 壊変で娘核種は親核種よりも質量数が□⑭ 小さくなり、□④ の数は□⑮ だけ小さくなる。このとき壊変前後における系の総質量は、必ず□⑯ 。
- (6) 安定な原子核よりも□⑰ が過剰にある原子核は、□⑤ を放出して β 壊変をする。あるいは陽子過剰の原子核は、□⑱ を放出する。
- (7) 原子核の質量を表すのに原子質量単位(記号 u) が用いられる。これは1個の中性原子 ^{12}C の質量を 12u と定めたもので、質量とエネルギーは互換性があり、
 $1\text{u} = 1.66 \times \square⑲ \text{ kg} = \square⑳ \text{ MeV}$
となる。

第2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) 1対の電子とイオンを作るのに費やされる放射線のエネルギーを、□①値という。充填ガスが空気の場合は□②eVとなる。電離箱ではその構造や□③の□④に関係なく、1対の電子とイオンが□③に到達すれば、常に□⑤Cの電荷が流れることになる。

(2) 半導体検出器においては、半導体物質である□⑥純度のGeや□⑦の4価の結晶に、□⑧などの5価の元素を□⑨物として加えると、□⑧の5個の外殻電子のうち4個は□⑩を構成する。残った1個の外殻電子はわずかなエネルギーでも容易に□⑪帯に移動し、□⑫となるので、この結晶を□⑬型半導体という。

一方、ホウ素のような□⑭価の□⑨物を加えるとホウ素の□⑭個の外殻電子は□⑩を構成するが、□⑩を形成する電子が1個不足し、□⑮となる。□⑯帯の電子がこれに容易に移動することで、□⑯帯には正孔が形成される。この結晶を□⑰型半導体という。

□⑬型半導体と□⑰型半導体を接合したときのダイオード特性としては、□⑱方向に電圧を印加すると電流が流れ、□⑲方向に電圧を印加すると、電荷を運ぶキャリアの移動を妨げるので電流は流れない。□⑲方向に電圧を印加した場合は、□⑬型結晶と□⑰型結晶の接合されている面にキャリアの存在しない□⑳層が形成される。

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) ある作業者が管理区域内で、1GBqの ^{192}Ir 線源を5m離れた場所から2時間取り扱った。この作業者の実効線量はいくらになるか。ただし、 ^{192}Ir 線源の実効線量率定数を $0.12\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ とする。
- (2) ^{60}Co の密封線源の容器表面を測定したところ、1cm線量当量率が $128\mu\text{Sv/h}$ であった。これを $2\mu\text{Sv/h}$ まで下げるには、鉛の遮へいの厚さをどのくらいにすればよいか。鉛の厚さをcmで示せ。ただし、 ^{60}Co の鉛に対する線減弱係数を 0.68cm^{-1} 、 $\ln 2 = 0.69$ とし、ビルドアップ効果は無視する。

第4問 次の問いに答えよ。

- (1) 内部被ばくに関する次の文章について、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〕 ⑥ - 東京

内部被ばくの評価においては、摂取時の放射性核種の分布に従い、線量率を経時的に積分することで得られる①線量が利用されている。防護体系においては、②線量を用い、生涯の算定値を得るために積算期間の条件を、成人では摂取後から③年、小児及び乳幼児では摂取してから70歳までとしている。防護の観点から、積算して得られる①線量は、放射性核種を摂取した年の1年間に内部被ばくした線量値と見なし、その年の④被ばく線量と合算した値を線量管理では用いる。この合算の前提として、内部被ばくと④被ばくにおけるリスクの同等性と⑤モデルが仮定されている。

- (2) 次に示す放射性核種の中から、(a) から (e) の判別条件に該当する核種を全て選択せよ。

<放射性核種>

^3H 、 ^{239}Pu 、 ^{134}Cs 、 ^{131}I 、 ^{90}Sr 、 ^{241}Am 、 ^{60}Co

- (a) 物理的半減期が5年を超えない核種
- (b) 経皮吸収に配慮すべき核種
- (c) 特定の臓器に高い親和性を示す核種
- (d) α 崩壊に伴う被ばくに配慮すべき核種
- (e) 平常時の原子炉施設でモニタリングの対象となる核種

第5問 放射線障害に関する次の文章について、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〕 ㉑ - 東京

- (1) 放射線への感受性には個人差がある。これには、被ばく時年齢や①、遺伝的な背景の違い、②機能における差違、体内に取り込まれた放射線源に対しては体内動態の相違なども関連する。③的影響に関しては、④期間を通して、個人毎に生活習慣や環境要因などの修飾要因が異なるため、大規模な観察集団から求められる平均化されたリスク推計値を個人の健康リスクの判断に利用することは不適切である。
- (2) 固形がんの形成には、複数の重大な突然変異の⑤が必要とされる。がん化に必要な突然変異の数を n 個とした場合、その全てが自然突然変異の発生だとすると、突然変異の数は⑥に伴って増加する。放射線は⑦への損傷を引き起こす変異原であり、これががん化に繋がる突然変異を 1 つ形成した場合、残りの⑧個の突然変異が自然突然変異もしくは他の発がん要因によって形成されると、発がんに至る。
- (3) 生物学的半減期は、体内に摂取された核種の半分の量が体外に排泄される⑨によって定義される。生物学的半減期は、放射性核種そのものの物理的及び化学的な存在様式に依存する⑩的要因と、臓器や組織との相互作用によって決定される生物学的要因に依存する。体内での核種動態は複雑であるが、摂取後の初期は体外への排泄速度が最大で、その後排出速度の低下に至る⑪性を示す。生物学的半減期の逆数と物理的半減期の逆数の和は、⑫半減期の逆数と等価であるので、生体内での実質的な半減期は物理的半減期よりも⑬くなる。
- (4) 放射線に特に高い感受性を示す組織は、生殖腺や⑭、水晶体である。中でも水晶体は、放射線による⑮反応に注意を払うべき部位である。⑯勧告は、最新の疫学的知見に従い、視覚障害を引き起こす白内障の発症防止のための⑰線量を 0.5 Gy へと見直した。これは従来の水晶体に発生する微小な⑱形成の⑰線量の下限と同水準である。この⑰値は、被ばく集団の⑲%に白内障が生じる線量である。⑳の着用は、 β 線に曝される作業環境において、水晶体の防護措置として一定の効果が期待される。

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) 防護の最適化
- (2) 線量評価におけるコンパートメントモデル
- (3) ヨウ化カリウム錠剤
- (4) 中性子線の遮へい方法
- (5) バックグラウンド放射線の由来
- (6) 内部被ばくのモニタリング方法