

20 原子力・放射線部門【必須科目 I】

I 次の20問題のうち15問題を選び解答せよ。(解答欄に1つだけマークすること。)

I-1 東京電力福島第一原子力発電所事故を契機とした我が国での原子力安全規制の転換に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 「原子力基本法」の一部が平成24年に改正された。この中で原子力利用における安全確保についての基本方針は「確立された国際的な基準を踏まえ、国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の安全保障に資することを目的として、行うものとする。」とされている。
- ② 経済産業省から原子力の安全規制部門を分離し、内閣府に独立性の高い組織として「原子力規制委員会」が設置された。
- ③ 新たに設置された原子力規制委員会は、委員長及び委員4人をもって組織された。
- ④ 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」の改正では、法律の目的として、重大な事故の発生に伴う放射性物質の原子力事業所外への異常放出といった災害の防止が含まれることが明記された。
- ⑤ 緊急時に備えて、平時から政府全体で原子力防災対策を推進するために、内閣に「原子力防災会議」が新たに常設された。

I-2 平成25年6月に公布された原子力規制委員会の新規制基準（実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則）において、新設又は強化された要求事項として最も不適切なものはどれか。

- ① 安全施設は、想定される自然現象（敷地の自然環境を基に、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象又は森林火災等から適用されるものをいう。）が発生した場合においても安全機能を損なわないこと。
- ② 安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても安全機能を損なわないこと。
- ③ 最終的な熱の逃がし場へ熱を輸送する系統は、その系統を構成する機器の単一故障の仮定に加え、外部電源が利用できない場合においても、その系統の安全機能が達成できるように、多重性又は多様性及び独立性を適切に備えた設計であること。
- ④ 発電用原子炉施設は、重大事故が発生した場合において、原子炉格納容器の破損及び発電所外への放射性物質の異常な水準の放出を防止するために必要な措置を講じたものであること。
- ⑤ 特定重大事故等対処施設は、原子炉建屋への故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムに対してその重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。

I-3 原子炉体系では、その体系内中性子の連鎖反応の消長は実効増倍率（ $k$ ）の大きさで支配される。さらに、その体系の反応度（ $\rho$ ）が実効増倍率の1からのずれとして定義されている。すなわち、

$$\rho = (k - 1) / k$$

いま、ある原子炉体系で実効増倍率を評価したところ、その値は0.980であった。この原子炉体系を正確に臨界にするには、別途正の反応度を加えることが必要になる（例えば、燃料の追加等）が、この時加えるべき反応度として最も適切な数値はどれか。

- ① 2.00 %  $\Delta k/k$     ② 2.04 %  $\Delta k/k$     ③ 2.08 %  $\Delta k/k$
- ④ 2.12 %  $\Delta k/k$     ⑤ 2.16 %  $\Delta k/k$

I-4 炉心、反応度制御系統等の設計において考慮すべき要求事項に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 燃料体は、通常運転時における圧力、温度及び放射線に起因する最も厳しい条件において、必要な物理的及び化学的性質を保持するものでなければならない。
- ② 設計基準対象施設は、原子炉固有の出力抑制特性を有するとともに、発電用原子炉の反応度を制御することにより核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有するものでなければならない。
- ③ 反応度制御系統（原子炉停止系統を含み、安全施設に係るものに限る。）は、制御棒、液体制御材その他反応度を制御するものによる2つ以上の独立した系統を有するものとする。
- ④ 制御棒の最大反応度価値及び反応度添加率は、炉心、炉心支持構造物及び原子炉压力容器内部構造物の損壊を起こさないものでなければならないが、制御棒の挿入の程度及び配置状態を制限する等、反応度価値を制限する装置が設けられている場合には、その効果を考慮してもよい。
- ⑤ 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における低温状態において、反応度制御系統のうち2つ以上の独立した系統は、発電用原子炉を未臨界に移行し、及び未臨界を維持できること。即ち、高温臨界未満の状態からキセノン崩壊及び原子炉冷却材温度変化による反応度添加を補償しつつ、低温未臨界状態を達成し、かつ、維持すること。

I-5 熱出力3,000 MW、炉心の装荷ウラン量が100トンの原子炉がある。この原子炉の運転サイクル長は全出力換算で400日であり、定期検査時に炉心に装荷されている燃料のうち4分の1が新燃料と交換される。この炉心から使用済燃料として取り出される燃料集合体の平均燃焼度として最も適切なものはどれか。

- ① 12,000 MWd/t      ② 24,000 MWd/t      ③ 36,000 MWd/t
- ④ 48,000 MWd/t      ⑤ 60,000 MWd/t

I-6 原子炉の動特性に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① 一般的な軽水炉では、反応度投入量が約0.2%  $\Delta k/k$ を超えると即発臨界となる。
- ② 一般的な軽水炉において、全出力運転中に制御棒を引き抜くと、出力は上昇する。この状態で制御棒を元の位置まで挿入すると、出力は一定になり、引き抜き前に比べて出力が高くなった状態が保持される。
- ③ 原子炉スクラムなどにより非常に大きな負の反応度が投入された場合、原子炉内の核分裂出力は即時に零となる。
- ④ ステップ状に微少な反応度  $\rho$  を投入した場合、原子炉の出力は反応度投入直後に約  $\beta/(\beta-\rho)$  倍となる。ここで、 $\beta$  は遅発中性子割合である。
- ⑤ 原子炉の動特性に大きな影響を与える遅発中性子は、核分裂性核種が中性子を吸収した後、時間遅れを伴って核分裂が起こることで発生する。

I-7 原子力規制委員会の「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」、並びに「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 安全施設における、安全機能の重要度が特に高いものは、単一故障が発生した場合であって、外部電源が利用できない場合においても機能できるように、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保しなければならない。
- ② 原子炉圧力容器の安全弁の容量の合計は、過圧防止に必要な容量以上であること。ただし、安全弁以外の過圧防止効果を有するものにあっても、当該装置の過圧防止能力に相当する値を減ずることはできない。
- ③ 発電用原子炉施設では、人がみだりに立ち入ることを防止するため、管理区域、保全区域及び周辺監視区域の3つの区域について、それぞれ他の場所と区別し、当該区域である旨を表示して管理しなければならない。
- ④ 原子炉格納容器は、一次冷却系統に係る原子炉施設が損壊し、又は故障した場合において想定される最大の圧力、最高の温度及び適切な地震力に十分に耐えることができ、かつ、所定の漏えい率を超えることがないものでなければならない。
- ⑤ 安全施設における重要安全施設は、2以上の発電用原子炉施設において共用し、又は相互に接続するものであってはならない。ただし、当該2以上の発電用原子炉施設の安全性が向上する場合は、この限りでない。

I-8 現行軽水炉における制御系に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① BWRの原子炉水位制御では、原子炉水位信号、給水流量信号、主蒸気流量信号の3要素により原子炉水位の変化を予測し、給水流量を調整して、あらかじめ定めた水位を保つように制御する。PWRの場合は蒸気発生器水位を制御する。
- ② PWRの加圧器制御系は、一次冷却材の体積変化による、加圧器の圧力変化及び水位変化を制御するものである。一次冷却材の圧力が一定の値になるように、スプレイ弁、逃がし弁、ヒータにより制御される。
- ③ BWRの原子炉出力は、制御棒及び原子炉再循環流量により制御される。再循環流量制御は負のボイド反応度係数を利用したものであり、その特徴は、出力レベルにより炉心内出力分布が大きく変わることである。
- ④ PWRのほう素濃度制御系は、一次冷却材ループのほう素濃度の調整を行うことにより、比較的緩やかな反応度変化を制御するものである。このほう素濃度調整は、化学体積制御設備を使用して行われる。
- ⑤ BWRでは、原子炉出力を増加すれば、蒸気圧力が設定値より上がるので、自動的に蒸気加減弁を開けてタービン出力を増し、逆に原子炉出力を減少させた場合には、タービン出力を減らして、いずれの場合も蒸気圧力を一定に保つようになっている。

I-9 我が国の核燃料物質等の輸送に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 軽水型原子力発電所で生じる低レベル放射性廃棄物を詰めたドラム缶を六ヶ所村の低レベル放射性廃棄物埋設センターへ輸送する際は、ドラム缶を複数本収納するコンテナが用いられている。
- ② 軽水型原子力発電所用濃縮六フッ化ウランは、気密性を有する専用容器に封入され、A型輸送物（核分裂性）として輸送される。
- ③ 軽水型原子力発電所用に濃縮六フッ化ウランから転換された二酸化ウランは、専用容器でA型輸送物（非核分裂性）として輸送される。
- ④ 軽水型原子力発電所用の新ウラン燃料の輸送は、成型加工工場から原子力発電所まで、専用の輸送容器でA型輸送物（核分裂性）として、トラックによる陸上輸送、又は海上輸送される。
- ⑤ 軽水型原子力発電所から発生する使用済燃料は、放射性物質を多く含んでおり、また発熱を伴うので、通常原子力発電所内の使用済燃料プールで一定期間冷却したのち、専用の輸送容器でB型輸送物（核分裂性）として再処理工場まで海上輸送（一部陸上輸送）される。

I-10 我が国の原子力施設から発生する放射性廃棄物の処理処分に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 我が国では、再処理施設において使用済燃料からウラン・プルトニウムを回収した後に残る核分裂生成物を高濃度に含む廃液を「高レベル放射性廃棄物」という。
- ② 低レベル放射性廃棄物は、発生場所により発電所廃棄物、長半減期低発熱放射性廃棄物、ウラン廃棄物、RI・研究所等廃棄物に区分されている。
- ③ 現在、我が国では、低レベル放射性廃棄物のうち、発電所廃棄物と長半減期低発熱放射性廃棄物の処分を、青森県六ヶ所村にある日本原燃(株)の低レベル放射性廃棄物埋設センターで行っている。
- ④ 余裕深度処分は、放射能レベルの比較的高い低レベル放射性廃棄物を、地下50～100 mの深度に処分する概念である。
- ⑤ 高レベル放射性廃棄物の処分候補地選定に向け、原子力発電環境整備機構が2002年から、高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する地域の公募を開始した。

I-11 再処理に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① 世界最初の実用規模の再処理方法は、米国で実施された共沈原理を用いた磷酸ビスマス沈殿法であり、廃棄物の発生が少ないという利点があった。
- ② 溶媒抽出法として最初に大規模に用いられたのは、トリブチル磷酸（TBP）を用いるレドックス法であった。
- ③ 低濃縮ウラン燃料の再処理に用いられるピュレックス（Purex）法は、現在の商業用再処理工場では使われていない。
- ④ 近年、核不拡散の観点から注目されている先進的再処理法とは、プルトニウムを出来るだけ精製された単体として使用済燃料から分離することを目的とする。
- ⑤ 高温冶金法は、装置がコンパクトとなる利点があるが、腐食性や反応性の高い薬品を高温で用いるために装置の腐食の問題がある。

I-12 プルトニウムの特徴に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 金属プルトニウムの融点は約640℃であり、金属ウランより低い融点を持つ。
- ② 常温から融点の間に6種の結晶構造に相変態し、化学的にも活性で、放射性物質としての毒性も高い。
- ③ 金属プルトニウムは、水溶液状のプルトニウムよりも臨界になりやすく、その扱う物量、形状に注意を要する。
- ④ プルトニウムは、主に使用済燃料を再処理することによって得られる。
- ⑤  $^{241}\text{Pu}$  は、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ と比べて、半減期が極端に短く、比放射能は極めて高い。

I-13 人体内には、主として飲食物や呼吸を通じて、炭素14、カリウム40、ポロニウム210などの自然の放射性核種が取り込まれる。日本人の成人（体重の目安：60キログラム）の体内に存在する炭素14の量として最も近いものはどれか。

- ① 10,000 ベクレル      ② 4,000 ベクレル      ③ 2,500 ベクレル  
④ 500 ベクレル      ⑤ 20 ベクレル

I-14 次の物質は何れも放射線検出器の素材として用いられる。これらのうち、熱中性子との核反応により生成される粒子の電子励起現象を利用する検出器の素材として用いられるものはどれか。

- ① ヨウ化ナトリウム      ② アルゴン      ③  $\alpha$ 酸化アルミニウム  
④ シリコン      ⑤ フッ化ホウ素

I-15 細胞の放射線感受性に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 放射線感受性は、細胞周期に依存し、分裂期は放射線感受性が高い。  
② 放射線感受性の酸素効果は、放射線の線エネルギー付与（LET）が増すと減少する。  
③ 放射線感受性は、酸素が少ないときに高くなる。  
④ 放射線感受性は、細胞の増殖能力の程度に比例し、分化の程度に反比例する。  
⑤ 間期の細胞核体積を染色体数で割った値が大きい生物の種類ほど放射線感受性が高い。

I-16 ある指向性を持った放射線は、物質中表面層を透過する場合、電子励起過程が支配的で、表面からの距離とともに大きくエネルギーを減少しつつ直進する。また、広角散乱することなく直進すると見なすことができる。この時に低い確率で後方散乱する放射線のエネルギーを分析することにより、元素の深さ分布に関する情報が得られる。次のうち、上述の内容に最も適合する放射線はどれか。

- ① 高速イオン      ② 電子線      ③  $\gamma$ 線      ④ X線      ⑤ 熱中性子線



I-17 国際放射線防護委員会（ICRP）1990年勧告における、放射線防護の対象となる被ばく及び線量限度に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 被ばくは、職業被ばく、医療被ばく、及び公衆被ばくの3つのカテゴリーに区分されている。
- ② 公衆被ばくの線量限度は実効線量で1 mSv/年である。
- ③ 生物医学研究の際のボランティア（被験者）としての被ばくは医療被ばくである。
- ④ 放射線診療を受ける患者の付添いと看護をする個人（職業人を除く。）が承知の上で自発的に受ける被ばくは医療被ばくである。
- ⑤ 医療被ばくにも線量限度は適用される。

I-18 放射線の違いによる身体への影響について同じ尺度で評価するために設定された係数を放射線加重係数という。放射線加重係数<sup>(注)</sup>は、国際放射線防護委員会（ICRP）1990年勧告による数値がこれまでは広く使用されてきたが、2007年に発表された新勧告で一部に修正がなされた。この新旧の勧告を比較している次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 光子に対する放射線加重係数は、全エネルギーの範囲で、1990年勧告と2007年勧告の両方共に1である。
- ② 電子に対する放射線加重係数は、全エネルギーの範囲で、1990年勧告と2007年勧告の両方共に1である。
- ③ 陽子に対する放射線加重係数は、全エネルギーの範囲で、1990年勧告と2007年勧告の両方共に5である。
- ④ 中性子の放射線加重係数については、1990年勧告ではエネルギー領域ごとに固有の数値として設定されたが、2007年勧告ではエネルギーの連続関数として設定された。
- ⑤ アルファ粒子、核分裂片、重原子核（又は重イオン）に対する放射線加重係数は、エネルギーに依存せず、1990年勧告と2007年勧告の両方共に20である。

(注) 国際放射線防護委員会の1990年勧告では「荷重係数」とし、2007年新勧告では「加重係数」としている。ここでは「加重係数」に統一している。

I-19 体内汚染の場合に、甲状腺に移行すると放射線防護上考えられている核種はどれか。

- ①  $^{60}\text{Co}$  (酸化物)      ②  $^{90}\text{Sr}$  (炭酸塩)      ③  $^{131}\text{I}$  (カリウム塩)  
④  $^{137}\text{Cs}$  (塩化物)      ⑤  $^{239}\text{Pu}$  (酸化物)

I-20 我が国における国民線量が平成23年に再評価され、その中で自然放射線による被ばく線量が、過去（平成4年）の評価結果である年間1.5 mSvと比較して年間2.1 mSvと増加しているが、その最も大きな要因はどれか。

- ① 家屋の気密性が向上しラドンによる内部被ばくの評価結果が増加したため。  
② 評価手法の変更により肉類摂取による $^{40}\text{K}$ の内部被ばくの評価結果が増加したため。  
③ 航空機の利用が多くなり宇宙線による外部被ばくの評価結果が増加したため。  
④ 新たに喫煙によるウラン系列核種の内部被ばくの評価結果が追加されたため。  
⑤ 評価手法の変更により魚介類摂取によるウラン系列核種の内部被ばくの評価結果が増加したため。