

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 平成25年6月に公布された原子力規制委員会の新規規制基準（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，新設又は従来から特に強化されておらず，変更のないものはどれか。

- ① 安全施設は，想定される自然現象（敷地の自然境界を基に，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 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。
- ③ 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。
- 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恐れがないものであること。

I-2 米国NRCは，1990年代より原子炉許認可に関して，それまでの建設許可と運転認可を別々に審査する方法とは異なる新たな審査方法を導入した。この米国の新しい審査方法に関する次の記述のうち，最も不適切なものはどれか。

- ① 米国の新たな原子炉許認可は，合衆国連邦規制基準10CFR Part52で制定されている。
- ② 早期立地許可（ESP）は，設置する原子力プラントの詳細が定まらない段階から，立地予定地がプラントの建設に適しているかどうかを審査するものである。
- ③ 標準設計認証（DC）は，原子炉安全諮問委員会（ACRS）のレビューを必要とする。
- ④ 標準設計認証（DC）には有効期限が定められていない。
- ⑤ 建設と条件付運転の一括認可（COL）の申請には，必ずしも標準設計認証（DC）の取得は必要ではない。

I－3 実用発電用原子炉について、原子炉システムの設計で考慮すべき要求事項についての次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 設計基準事故時において、反応度制御系統のうち少なくとも1つは、原子炉を未臨界へ移行することができ、かつ、少なくとも1つは、原子炉を未臨界に維持できることが要求される。
- ② 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に瞬間的破壊が生じないように、十分な破壊じん性を有することが要求される。
- ③ 燃料体、減速材及び反射材並びに炉心支持構造物は、設計基準事故と重大事故を除き、原子炉を安全に停止し、かつ、停止後に炉心の冷却機能を維持できることが要求される。
- ④ 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に瞬間的破壊が生じないように、十分な破壊じん性を有することが要求される。
- ⑤ 原子炉施設には、原子炉制御室以外の場所から原子炉を高温停止の状態に直ちに移行させ、その後、安全な低温停止の状態に移行させ、維持させる機能を有する装置が要求される。

I－4 平成28年12月の原子力関係閣僚会議で決定された「高速炉開発の方針」における次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 高速炉は、核燃料サイクルによって期待される高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減、資源の有効利用の効果をより高めるものである。
- ② 高速炉の開発に当たっても、地震・津波対策の強化やシビアアクシデント対策等の新たな規制要求に応じていかななければならない。
- ③ 安全性や供給信頼性、環境負荷低減性等を考慮した上で、運転経済性を含めた発電原価換算での経済性を備えたものでなければならない。
- ④ 国際協力の場合を戦略的に活用して開発の合理化を図るとともに、最先端の知見を獲得して、国際標準を探求していくことが重要である。
- ⑤ 高速炉の開発については、メーカー・電力の民間事業者が主体となって進め、必要に応じて国が支援していく体制が重要である。

I-5 実用発電用原子炉施設において核物質防護に関係する場所のうち、常時立入者以外の者が立入る場合に、常時立入者が同行し、特定核燃料物質の防護のために必要な監督が義務付けられている場所がある。次のうち、前述の義務が課せられていない場所はどれか。

- ① 防護区域
- ② 中央制御室外から発電用原子炉施設を安全に停止させるための機能を有する機器を設置した区域
- ③ 立入制限区域
- ④ 安全保護装置周辺区域
- ⑤ 見張人の詰所

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 ステップ状に微小な反応度 ρ 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、 β は実効遅発中性子割合である。
- ② 国内の発電用軽水炉では、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。
- ③ 原子炉スクラムなどにより比較的大きな負の反応度が投入された場合、原子炉内の核分裂による出力は即時に零となる。
- ④ 遅発中性子の平均エネルギーは、即発中性子の平均エネルギーである約2 MeVよりも大きい。
- ⑤ 国内の発電用軽水炉において、ドップラ係数は正となるように設計する。

I-7 次の記述は、実用発電用原子炉に関する技術基準のうち、監視試験片に関するものである。文章中の□に入る語句の組合せとして最も適切なものはどれか。

設計基準対象施設に属する容器であって、1メガ電子ボルト以上の中性子の照射を受けその材料が著しく劣化するおそれのあるものの内部には、当該容器が想定される運転状態において□(ア)を引き起こさないようにするために、照射の影響を確認できるように次に定める監視試験片を備えなければならない。

- 一 監視試験片の材料は、中性子の照射領域にある容器の材料と同等の□(イ)を有するものであること。
- 二 監視試験片は、容器の使用開始後に取り出して試験を実施することにより、容器の材料の□(ウ)及び破壊じん性の変化を確認できる個数とすること。
- 三 監視試験片は、中性子の照射領域にある容器の材料が受ける□(エ)、中性子照射量及び温度履歴の条件と同等の条件になるように配置すること。

	ア	イ	ウ	エ
①	応力腐食	溶接条件	表面状態	中性子スペクトル
②	脆性破壊	合金成分	機械的強度	応力変化
③	応力腐食	製造履歴	表面状態	腐食電位変化
④	疲労破壊	合金成分	サイクル疲労	応力変化
⑤	脆性破壊	製造履歴	機械的強度	中性子スペクトル

I-8 原子力災害対策に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 原子力施設の状況に応じて、緊急事態を、警戒事態、施設敷地緊急事態及び全面緊急事態の3つに区分する。
- ② 防護措置の実施を判断する基準として、空間放射線量率や環境試料中の放射性物質の濃度等の原則計測可能な値で表される運用上の介入レベル（OIL：Operational Intervention Level）を設定する。
- ③ 原子力災害対策重点区域の設定に当たっては、原子力施設の種類に応じて想定される事故の規模及び立地点における地域特性を判断の目安とする。
- ④ 緊急時モニタリングセンターは、国、地方公共団体、原子力事業者及び関係指定公共機関の要員で構成され、原則として国が指揮を執る。
- ⑤ 安定ヨウ素剤の予防服用に当たっては、副作用や禁忌者等に関する注意を事前に周知する。

I-9 核燃料に関係深いアクチノイド元素（Th, U, Np, Pu, Am）に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① U-234は、ウラン系列の α 壊変、 β 壊変の結果により生成され、天然に約0.0055%存在する。
- ② ネプツニウムは、常温における密度が最も大きい。
- ③ 米国で発見された最初のプルトニウムの同位体は、Pu-238である。
- ④ Am-241は、主にPu-241の β 壊変で生成される。
- ⑤ 天然トリウムの地殻存在度は、天然ウランのそれより低い。

I-10 核拡散防止条約（NPT）に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① イラク、北朝鮮の核兵器開発疑惑やインド、パキスタンの核実験といったNPT体制内外からの挑戦を抱えている。
- ② 締約国は191か国・地域（2015年2月現在）であり、非締約国はインド、パキスタン、イスラエル、南スーダンである。
- ③ 米、露、英、仏の4か国を「核兵器国」と定め、「核兵器国」以外への核兵器の拡散防止を目的の1つとする。
- ④ 各締約国による誠実に核軍縮交渉を行う義務を規定している。
- ⑤ 原子力の平和的利用の軍事技術への転用を防止するため、非核兵器国が国際原子力機関（IAEA）の保障措置を受諾する義務を規定している。

I-11 原子力発電及び核燃料サイクルの歴史的経緯に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 「長期エネルギー需給見通し」（平成27年7月経済産業省決定）によれば、東日本大震災前に約3割を占めていた我が国の原発依存度（総発電電力比）は、2030年度には約1割に低減すると見込まれている。
- ② 我が国では、1970年代に二度にわたる石油危機が生じ、原子力発電の利用が加速された。
- ③ 世界で最初の実験的原子力発電は、1951年、米国の高速実験炉EBR-Iによって行われた。
- ④ 原子力は、第二次世界大戦中に核兵器として実用化されたが、1953年に当時のアイゼンハワー米国大統領が国連総会で行った「平和のための原子力（Atoms for Peace）」演説を契機として、原子力発電など平和目的への利用が進められた。
- ⑤ 使用済燃料の再処理は、我が国においても1950年代からその必要性が叫ばれており、当時の原子力開発利用長期計画では、極力国内技術によることとしていた。

I-12 東京電力福島第一原子力発電所の事故により環境に放出された放射性物質に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① 環境に放出された放射性セシウムの主な同位体はCs-134とCs-137であるが、現在（2017年時点）は半減期が約8日のCs-134は減衰し、主にCs-137が環境中に残っている。
- ② 食品中の放射性物質の規制値は核種ごとに定められており、例えば放射性ストロンチウムの規制値は放射性セシウムの規制値の10分の1である。
- ③ 実焼却炉を用いた焼却処理試験で、廃棄物中の放射性セシウムのほとんどは主灰（炉底に残る灰）にとどまり、排ガス系へは、ほとんど移行しないことが確認されている。
- ④ 国がその地域内にある廃棄物の収集、運搬、保管及び処分を実施する必要があるとして環境大臣が指定した地域を汚染廃棄物対策地域という。
- ⑤ 汚染廃棄物対策地域外において、放射性セシウムの放射能濃度が1キログラム当たり8,000ベクレルを超える廃棄物は指定廃棄物として各自治体が収集、運搬、保管及び処分をしなければならない。

I-13 放射線育種とは、放射線による人為的な突然変異誘発を利用した植物・農作物の品種改良技術である。放射線育種に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 1920年代にX線やガンマ線を用いてオオムギやトウモロコシの突然変異の誘発に成功したのが放射線育種の始まりである。
- ② 放射線以外に、アルキル化剤などの化学変異原を用いても人為的な突然変異の誘発と新品種の育成が可能である。我が国で育成された農作物の新品種は化学変異原を用いたものが多く、放射線で突然変異を誘発したものは少ない。
- ③ 1990年に命名登録された梨の新品種「ゴールド二十世紀」は、原品種「二十世紀」へのガンマ線照射で誘発された枝変わりであり、ナシ黒班病への抵抗性を獲得したものである。
- ④ X線やガンマ線の代わりにイオンビームを照射すると、変異の誘発率が高い、得られた変異の種類幅が広い、特定の遺伝子変異だけが誘発される「ワンポイント変異」が期待できる、などの利点が明らかになっている。
- ⑤ 最近では、ヒラタケやハタケシメジなどのキノコ類や微生物の品種改良にもイオンビーム育種が用いられている。

I-14 次の物質はいず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離作用を利用する検出器の素材に用いられるものとして最も適切なものはどれか。

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

I-15 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などの天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）の体内に存在するカリウム40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-16 放射線と物質との相互作用に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 気体が荷電粒子により電離されるとき、イオンと自由電子の対が生じる。このイオン対を作る平均エネルギーをW値という。
- ② 誘電体の中を荷電粒子が通過すると、その粒子の電場により飛跡上の分子が分極して電磁波を発生する。荷電粒子の速度がこの電磁波の速度を超えたとき、飛跡上の各点から発生した電磁波が干渉し、円錐状に放出される電磁波（光）をチェレンコフ光という。
- ③ 光電効果の前後における運動量保存とエネルギー保存の関係によって、 γ 線のエネルギーが高いほど粒子的性質が強くなるので、光電子の放出方向は γ 線の入射方向に対して小さい角度の成分が多くなる。
- ④ エネルギーが1～500 keVの中速中性子と軽い原子核の主な反応は弾性散乱、非弾性散乱、核変換反応であり、全断面積は低速中性子に比べて大きくなる。
- ⑤ X線には、核外軌道電子のエネルギー状態の遷移により放出される、特定の単一エネルギーを持った特性X線と、電子と原子核のクーロン場との相互作用により放出される、連続エネルギーを持った制動放射線又は制動放射X線がある。

I-17 国際放射線防護委員会（ICRP）2007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 核医学治療を受けた患者を直接的に介助と介護をする成人に対しては、公衆被ばくの線量限度が適用される。
- ② 生物医学研究におけるすべての志願者（志願被検者）の被ばくは医療被ばくのカテゴリーに含まれる。
- ③ 計画被ばく状況における公衆被ばくの線量限度は実効線量で1年につき1 mSvである。
- ④ 被ばくは、職業被ばく、患者の医療被ばく、及び公衆被ばくの3つのカテゴリーに区分されている。
- ⑤ 妊娠している作業員の胚と胎児の被ばくは公衆被ばくとして規制される。

I-18 内部被ばくの測定に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 吸入摂取により胸部に残留したPu-239やAm-241からの低エネルギーガンマ線や特性X線を測定するため低バックグラウンドの肺モニタが使われる。
- ② トリチウム水蒸気を吸入摂取した場合、バイオアッセイ法で尿を用いる手法以外に、より簡便な呼気を用いる手法がある。
- ③ 吸入摂取した物質がCo-60酸化物の場合、吸収速度が速く肺における残留時間が短いことから、摂取後の迅速な体外計測法による測定が必要である。
- ④ バイオアッセイ法は人体から採取した便、尿等の測定結果から体内の放射エネルギーを評価するため間接手法と呼ばれる。
- ⑤ バイオアッセイ法は α 線や β 線のみを放出する核種のように体外からの計測が困難な核種について必要不可欠な手法である。

I-19 Co-60ガンマ線源をコンクリート遮蔽壁（厚さ50 cm程度）でできた施設に保管し遮蔽外側での線量率を求める場合、以下の説明について最も不適切なものはどれか。

- ① 管理区域に係る基準の線量を計算する場合、Co-60ガンマ線の1 cm線量当量率定数でなく、実効線量率定数を用いて計算する。
- ② 質量減衰係数は線減衰係数を物質の密度で割った値で、物質の密度が変わっても一定の値になる。
- ③ ビルドアップ係数は、測定点に入る全光子による線量を、直接線による線量で割った商である。
- ④ ガンマ線が物質中に入ったとき、最初に相互作用するまでに通過する距離の平均値を平均自由行程といい、線減衰係数 μ に比例する。
- ⑤ 線量透過率は、遮蔽体があるときの線量を遮蔽体がないときの線量で割った商である。

I-20 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。放射線加重係数に関する国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告に関する次の記述のうち、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1である。
- ② 電子、ミュー粒子に対する放射線加重係数は、全エネルギーの範囲で1である。
- ③ 中性子の放射線加重係数はエネルギーの関数であり、1 MeV近傍でおよそ20になる。
- ④ 陽子に対する放射線加重係数は、全エネルギーの範囲で5である。
- ⑤ アルファ粒子、核分裂片、重イオン（又は重原子核）に対する放射線加重係数は、エネルギーに依存せず20である。