

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 昨年(2012年)9月に発足した原子力規制委員会の設置法第一条(目的)において、目的として資する対象が挙げられている。次のうち、同法第一条に明示的に挙げられていないものはどれか。

- ① 国民の生命と健康の保護
- ② 国民の財産の保護
- ③ 放射線障害の防止
- ④ 環境の保全
- ⑤ 我が国の安全保障

I-2 昨年(2012年)6月に改正された「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」において、発電用原子炉の設置許可の基準が示されている。次のうち、その基準として含まれていないものはどれか。

- ① 発電用原子炉が平和の目的以外に利用されるおそれがないこと。
- ② 原子力の開発及び利用の計画的な遂行に支障を及ぼすおそれがないこと。
- ③ 発電用原子炉を設置するために必要な技術的能力及び経理的基礎があること。
- ④ 重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力その他の発電用原子炉の運転を適確に遂行するに足りる技術的能力があること。
- ⑤ 発電用原子炉施設の位置、構造及び設備が核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は発電用原子炉による災害の防止上支障がないものとして原子力規制委員会規則で定める基準に適合するものであること。

I-3 原子炉システムの構成に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 実用化されている発電用原子炉システムは、核分裂により熱を発生させる原子炉系と、その発生熱を利用して発電を行う蒸気タービン及び発電機とを構成要素として持っている。
- ② 原子炉のうち、核分裂の連鎖反応による臨界の維持を主にエネルギーの低い熱中性子に依存する原子炉は熱中性子炉と呼ばれ、主にエネルギーの高い高速中性子に依存する原子炉は高速中性子炉と呼ばれている。
- ③ 熱中性子炉の炉心特性は主に減速材に支配されるため、それが軽水の場合には軽水炉、重水の場合には重水炉、黒鉛の場合には黒鉛炉と呼ばれている。この3種類の減速材のうち中性子の減速能力が最も高く、かつ中性子の吸収が最も少ないのは軽水である。
- ④ 現在、実用化され世界的に最も普及している発電用原子炉は軽水炉であり、燃料としては低濃縮ウランが用いられている。また、重水炉、黒鉛炉では燃料として天然ウランを使用することも可能である。
- ⑤ 高速中性子炉はもともとプルトニウムを燃料として用いることによる、燃料の増殖を意図してその開発が進められてきたものの、開発途上で各種の技術的及び経済的な課題を抱えており、実用化が遅れている。

1-4 軽水型動力炉の非常用炉心冷却系（ECCS）は、配管等の破断による原子炉冷却材喪失時に、炉心の冷却可能な形状を維持しつつ、事故を収束させる機能及び性能を有しなければならない。このことを確認するため、想定冷却材喪失事故の解析を行い、次の基準を満足することを示さなければならない（燃料被覆管はジルカロイ製である）。

- (1) 燃料被覆の温度の計算値の最高値は、以下であること。
- (2) 燃料被覆の化学量論的酸化量の計算値は、酸化反応が著しくなる前のの15%以下であること。
- (3) 炉心で燃料被覆及び構造材が水と反応するのに伴い発生するの量は、格納容器の健全性確保の見地から、十分低い値であること。
- (4) 燃料の形状の変化を考慮しても、が長期間にわたって行われることが可能であること。

上記文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。

| | ア | イ | ウ | エ |
|---|-------|-------|----|---------|
| ① | 800℃ | 燃料棒質量 | 酸素 | 崩壊熱の除去 |
| ② | 800℃ | 被覆管厚さ | 水素 | 核的反応の停止 |
| ③ | 1000℃ | 燃料棒質量 | 水素 | 崩壊熱の除去 |
| ④ | 1200℃ | 被覆管厚さ | 水素 | 崩壊熱の除去 |
| ⑤ | 1200℃ | 燃料棒質量 | 酸素 | 核的反応の停止 |

I-5 原子炉の炉心はスクラム後も、主として の崩壊により発熱が継続する。十分に長期間運転した後の炉心の崩壊熱は、近似的に以下の式に表すことができる。

$$P(t) = 0.0622P(0)t^{-0.2}$$

ここで、 $P(t)$ 、 $P(0)$ はそれぞれスクラム後 t 秒経ったときの崩壊熱、停止直前(運転中)の原子炉熱出力である。定格熱出力3,000 MWの原子炉がスクラム後1日経過したときの崩壊熱は である。この熱を除去するためには、 で給水する必要がある。ただし、除熱に当たっては水の蒸発潜熱のみを考慮し、その値は2,260 J/gとする。この計算例は、原子炉停止後に給水及び を確保することが、安全上極めて重要であることを示している。

上記文中の に入る語句の組合せとして、最も適切なものはどれか。

| | ア | イ | ウ | エ |
|---|--------|---------|----------|----------|
| ① | TRU核種 | 約20 MW | 約30 t/h | 最終ヒートシンク |
| ② | TRU核種 | 約100 MW | 約150 t/h | 未臨界 |
| ③ | 核分裂生成物 | 約20 MW | 約30 t/h | 最終ヒートシンク |
| ④ | 核分裂生成物 | 約100 MW | 約150 t/h | 最終ヒートシンク |
| ⑤ | 核分裂生成物 | 約100 MW | 約150 t/h | 未臨界 |

I-6 熱中性子炉の運転に大きな影響を及ぼす ^{135}Xe の変化に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。ただし、 ^{135}Xe の変化は以下の方程式で記述できるものとする。

$$\frac{dI(t)}{dt} = -\lambda_I I(t) + \gamma_I \Sigma_f \phi$$

$$\frac{dX(t)}{dt} = \lambda_I I(t) + \gamma_X \Sigma_f \phi - \lambda_X X(t) - \sigma_{a,X} X(t) \phi$$

ここで、 $I(t)$ ：時間 t における ^{135}I の原子数密度、 $X(t)$ ：時間 t における ^{135}Xe の原子数密度、 λ_I ： ^{135}I の崩壊定数、 λ_X ： ^{135}Xe の崩壊定数、 γ_I ： ^{135}I の核分裂収率、 γ_X ： ^{135}Xe の核分裂収率、 $\sigma_{a,X}$ ： ^{135}Xe の微視的吸収断面積、 Σ_f ：炉心の平均巨視的核分裂断面積、 ϕ ：炉心の平均中性子束である。なお、 $I(t)$ 、 $X(t)$ 以外は、一定値とする。

- ① 原子炉が十分長い時間運転され、 ^{135}Xe が平衡状態に達したときの ^{135}Xe の原子数密度は、 $\frac{(\gamma_I + \gamma_X) \Sigma_f \phi}{\lambda_X + \sigma_{a,X} \phi}$ である。
- ② 一般的な軽水炉において、 ^{135}Xe による負の反応度は、全出力の平衡状態において2～3% $\Delta k/k$ 程度である。
- ③ 一般的な軽水炉の出力運転時において、 ^{135}Xe が平衡状態に達した後、原子炉がスクラムすると、 ^{135}Xe の原子数密度は、100時間程度で最大値に達し、その後減少するという変化を示す。
- ④ 一般的な軽水炉の運転サイクル末期において、原子炉がスクラムした場合、 ^{135}Xe の吸収効果により、原子炉が再起動できない期間が生じる可能性がある。
- ⑤ 一般的な軽水炉において、 ^{135}Xe の原子数密度は空間的・時間的な振動を生じることがある。これをXe振動と呼び、原子炉の運転に影響を与えることがある。

I-7 我が国で、現在発電用に用いられている沸騰水型原子炉（BWR）及び加圧水型原子炉（PWR）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では飽和蒸気を炉心から直接発生させるが、PWRでは炉圧をBWRの約2倍以上に加圧し、炉心においてBWRより高圧高温の水を発生させるので、PWRの蒸気発生器（SG）において発生する蒸気も、BWRの蒸気温度より高温である。
- ② PWRでは制御棒を炉心の上部から重力の働く方向に挿入するが、BWRでは炉心の下部から水圧により挿入する。
- ③ 過去に、BWRでは主に再循環系配管や中性子計測装置収納管の応力腐食割れによるトラブルが発生し、また、PWRでは主に蒸気発生器伝熱管の漏えいトラブルが発生した。
- ④ BWRでは原子炉再循環ポンプの回転数を変えることにより、制御棒を操作することなく原子炉の出力を増減させることができる。
- ⑤ BWRではタービン建屋は放射線管理区域であり、一方、PWRタービン建屋は通常は放射線管理区域とならない。しかしながら、両方のタービン建屋とも、最近のプラントでは鉄筋を密に挿入した厚い壁で覆って建造している。

I-8 軽水炉のシビアアクシデント発生時における進展プロセスを概説した次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 現在発電用に用いられている軽水炉において、設計基準事象を大幅に超えた事象が発生し、全電源を喪失して全ての常用及び非常用冷却機能が失われ、さらに、それらの機能回復に失敗する等して炉心冷却機能を喪失すると、シビアアクシデントに至る。
- ② 外部からの注水によるフィードアンドブリードなどの、シビアアクシデントの拡大防止・緩和のためのアクシデントマネジメントによっても、事故の拡大が抑制できなくなると、崩壊熱によって原子炉冷却水が蒸発し、原子炉水位が下がって燃料棒が露出する。
- ③ 高温になった燃料棒被覆管中のジルコニウムと主に高温の蒸気との発熱を伴う反応によって水素が発生する。事象が進展し、燃料棒被覆管材料であるジルコニウム合金の融点を超えると被覆管が溶融する。
- ④ さらに高温になると燃料ペレットが溶融し、その結果、溶融した炉心物質が原子炉圧力容器下部に残っている冷却水中に落下すると、冷却されてデブリとなる。
- ⑤ 原子炉圧力容器下部を貫通した溶融炉心物質が、高圧状態で格納容器内に分散放出されると、微粒化して表面積が増加し、崩壊熱や発熱反応で生じた熱により主に格納容器液相部を加熱し、破損に至らしめる格納容器雰囲気直接加熱の可能性が生じる。

I-9 核燃料サイクルに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 我が国のウラン資源は僅少であり、現在は全量を海外からの輸入に頼っている。
- ② 天然ウランから4%濃縮ウランを1トン（金属ウラン換算）生産するには、テイル濃度が0.25%の場合は約8トンのウラン供給が必要である。
- ③ 海外で再処理して回収されたプルトニウムを軽水炉で使用する場合は、現状では海外においてMOX燃料に加工して、我が国に輸送される。
- ④ 我が国の軽水炉使用済燃料からピューレックス（PUREX）法により高純度のウラン及びプルトニウムが回収されるが、この方法はアメリカ合衆国で最初に行われた。
- ⑤ 軽水炉の使用済燃料の再処理から発生する高レベル放射性廃棄物を処理したガラス固化体には、ネプツニウムなどの超ウラン元素は含まれない。

I-10 福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性物質により汚染された除染特別地域の除染について、環境省が平成24年1月26日に示した除染ロードマップにおける「除染特別地域の除染の進め方」と相違するものは、次の記述のうちどれか。

- ① 本格的な除染に先立ち除染モデル実証事業やインフラ等への先行除染から得られた知見を活用し、本格除染の計画を策定し除染を進める。
- ② 新たな避難指示区域の区分として、「避難指示解除準備区域」（年間積算線量が20 mSv以下となることが確認された地域）、「居住制限区域」（年間積算線量が20～100 mSvの地域）、及び「帰還困難区域」（年間積算線量が100 mSv超の地域）が定められ、区分ごとに線量に応じた実施順序、除染の目標、地域内の優先順位を定めている。
- ③ 「避難指示解除準備区域」の除染の実施順序として、平成24年内を目途に10～20 mSv/年の地域（学校等は5 mSv/年以上）の除染を、平成25年3月末までを目途に5～10mSv/年の地域の除染を、平成26年3月末までを目途に1～5 mSv/年の地域の除染をそれぞれ目指すとしている。
- ④ 「避難指示解除準備区域」の除染の目標として、平成23年8月末と比べ、平成25年8月末までに、一般公衆の年間追加被ばく線量を約50%減少した状態（子供の場合は約60%減少した状態）を実現するとしている。また、除染等の結果として追加被ばく線量が年間1 mSv以下となることを長期目標としている。
- ⑤ 除染工程の主なプロセスとして次のように進めるとしている。1) 土地の関係人の把握、2) 現地調査等の住民説明会、3) 建物等の立入りの了解、4) 放射線モニタリング・建物等の状況調査（現地調査）、5) 除染方法の決定、6) 除染方法の確認・除染の同意、7) 除染作業、8) 事後の放射線モニタリング等、9) 結果の報告

I-11 核燃料サイクル施設における水溶液系の臨界事故は、一般的に最初に臨界に達した後、臨界状態は「ア」に終わり、臨界未満状態となり終息する。過去の水溶液系の臨界事故で発生した核分裂数は一般的に約10の「イ」乗である。この際、発生したエネルギーは100 Wの白熱灯を「ウ」点灯したことに対応する。なお、1核分裂で発生するエネルギーは約「エ」 MeVである。また、1ジュールは 6.2×10^{18} eVとする。

上記文中の「」に入る語句の組合せとして、最も適切なものはどれか。

| | ア | イ | ウ | エ |
|---|-----------|----|-------|-----|
| ① | 瞬時 | 14 | 0.3秒間 | 20 |
| ② | 瞬時 | 14 | 3秒間 | 20 |
| ③ | 一定時間継続した後 | 18 | 9時間 | 200 |
| ④ | 一定時間継続した後 | 18 | 90時間 | 200 |
| ⑤ | 一定時間継続した後 | 24 | 4000日 | 200 |

I-12 使用済燃料管理に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 半減期の短い放射性核種は、比放射能が大きいから、再処理や照射後試験の際に特に注意が必要である。なお、十分に短い半減期を持つ放射性核種は冷却期間中に崩壊する。
- ② 核燃料物質は自発核分裂を起こすから、特に偶数の質量数を持つPu同位体では核分裂に伴う中性子線の影響も考慮しなければならない。
- ③ 強いアルファ放射体が軽元素と共存すると (α, n) 反応によって中性子線を発生する場合がある。
- ④ ^{239}Pu は、 ^{235}U よりも強いアルファ放射体である。
- ⑤ ^{241}Pu の半減期は、 ^{235}U の半減期よりも長い。

I-13 成人（体重の目安：60 キログラム）の身体内に存在する自然の放射性核種⁴⁰Kの量として最も近い値はどれか。

- ① 4 ベクレル
- ② 40 ベクレル
- ③ 400 ベクレル
- ④ 4,000 ベクレル
- ⑤ 40,000 ベクレル

I-14 放射線が物質中を通過するときを与えるエネルギーの指標として、線エネルギー付与（Linear Energy Transfer：LET）がある。Co-60で発生するガンマ線や1～2 MeVの電子線の水中でのLETとして、最も適切なものはどれか。

- ① 20～30 eV/ μ m
- ② 0.2～0.3 keV/ μ m
- ③ 20～30 keV/ μ m
- ④ 0.2～0.3 MeV/ μ m
- ⑤ 2～3 MeV/ μ m

I-15 真空中をGeVオーダーのエネルギーで運動する電子の進行方向が変化したときに放出される電磁波として、最も適切なものはどれか。

- ① 逆コンプトンガンマ線
- ② 特性X線
- ③ レーザー光線
- ④ チェレンコフ放射光
- ⑤ シンクロトロン放射光

I-16 核医学診断としてポジトロン断層撮影法（PET）がある。この検査に使われる放射性核種は、半減期が最も短い から、最も長い までの4核種が利用されている。

上記文中の に入る語句の組合せとして、最も適切なものはどれか。

- | | ア | イ |
|---|--------|--------|
| ① | 炭素-11 | 酸素-15 |
| ② | 窒素-13 | 炭素-11 |
| ③ | 酸素-15 | フッ素-18 |
| ④ | フッ素-18 | 酸素-15 |
| ⑤ | 窒素-13 | フッ素-18 |

I-17 放射線影響・障害に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 生殖腺（精巣，卵巣）に被ばくを受けた場合に発生する不妊は確率的影響である。
- ② 放射線影響は、多量の放射線を受けた場合を除き、被ばくしてから影響が現れるまでに潜伏期間が存在し、放射性誘発がんの潜伏期間は数十年に及ぶものもある。
- ③ 被ばくしてから、数週間以内に現れる影響が早期影響であり、骨髄障害は早期影響に分類される。
- ④ 確率的影響とは、しきい線量が存在しないと仮定されている影響で、被ばく線量の増加とともに重篤度は変わらないが、発生確率が増加すると考えられている。
- ⑤ 確定的影響に対する放射線感受性の程度はしきい線量で表される。

I-18 GM計数装置で、あるβ線源とバックグラウンドをそれぞれ1分ずつ測定したところ、β線源の計数値は6,600カウント、バックグラウンドは300カウントであった。この測定の全計数効率を10%として、そのβ線源の放射能(Bq)と標準偏差に最も近い値はどれか。

- ① 105 ± 1.4
- ② $1,050 \pm 14$
- ③ $1,050 \pm 83$
- ④ $6,300 \pm 83$
- ⑤ 630 ± 8.3

I-19 体外計測法による内部被ばく検査の結果、3,000ベクレルの ^{134}Cs (半減期:2.1年)が全身均等に分布していることが分かった。生物学的半減期を100日とすると、1年後に残存する ^{134}Cs の量として最も近い値はどれか。

- ① 70ベクレル
- ② 170ベクレル
- ③ 340ベクレル
- ④ 500ベクレル
- ⑤ 700ベクレル

I-20 非密封放射性同位元素の使用施設で火災が発生し、放射線障害が発生するおそれが生じた。このとき講じられた放射線障害防止法に基づく応急措置に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 放射線施設内部及び付近にいる者に、避難するよう警告した。
- ② 密封されていない放射性同位元素を、事業所内の延焼のおそれのない安全な場所に移したあと、その場所の周囲をロープで隔離し、見張り人をつけて関係者以外の者の立ち入りを禁止した。
- ③ 放射性同位元素による汚染が生じたので、速やかに、汚染拡大の防止措置を講じるとともに除染を行った。
- ④ 緊急作業に係る線量限度として、実効線量で120 mSvまで被ばくできるものとして応急措置を計画した。
- ⑤ 直ちにその旨を消防署に通報した。