

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 実用発電用原子炉施設の炉心，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 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。
- ② 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。
- 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 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。すなわち，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。
- ⑤ 制御棒の最大反応度価値及び反応度添加率は，想定される反応度投入事象に対して原子炉冷却材圧力バウンダリを破損せず，かつ，炉心の冷却機能を損なうような炉心，炉心支持構造物及び原子炉圧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。

I-2 経済産業省が平成27年7月に決定した「長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス）」における2030年度のエネルギー需給構造の見通しに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 一次エネルギー供給構造について、東日本大震災後大きく低下した我が国のエネルギー自給率は、再生可能エネルギー及び原子力を含めて、24.3%程度に改善する。
- ② 総発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合は22%～24%程度となる。
- ③ 原子力発電については、東日本大震災前に総発電電力量の約3割を占めていた原発依存度は、15%～18%程度へと大きく低減する。
- ④ 総発電電力量に占めるLNG火力及び石炭火力の割合はそれぞれ27%程度及び26%程度になり、石油火力は3%程度である。
- ⑤ 水力・石炭火力・原子力等によるベースロード電源比率は56%程度となる。

I-3 発電用原子炉施設（PWR 及び BWR）の非常用炉心冷却系（ECCS）は、配管の破断、配管に付属する機器の故障等による原子炉冷却材喪失事故時に、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、想定原子炉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被覆管厚さの以下であること。
- (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℃	5%	酸素	崩壊熱の除去
②	800℃	15%	水素	核的反応の停止
③	1000℃	5%	酸素	核的反応の停止
④	1200℃	5%	水素	崩壊熱の除去
⑤	1200℃	15%	水素	崩壊熱の除去

I-4 確率論的安全評価（PSA）に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① レベル1 PSAでは、起回事象発生時にその拡大を防止するために設けられている安全機能のうち、成功・失敗の組合せを考えて事故緩和系や人的操作の信頼性解析を行い、炉心の大規模な損傷事象の発生確率である「炉心損傷頻度」を求める。
- ② 起回事象がランダムな機器故障や原子炉運転員の誤操作によって生じる場合を「内の事象」と呼び、火災もこれに含まれる。
- ③ 地震や航空機の墜落等の外部からのインパクトによって生じる場合を「外的事象」と呼ぶ。
- ④ レベル2 PSAでは、炉心損傷後の事象進展の解析を行い、格納容器から大量の放射性物質が放散する事象の発生確率である「格納容器破損頻度」等を求める。
- ⑤ レベル3 PSAでは、格納容器の破損形態や放射性物質の放出量の類似性を考慮して放出カテゴリにまとめ、大気中拡散や食物連鎖等による環境中の放射性物質の移行及び公衆の被ばく量の解析を行い、「公衆の健康リスク」を求める。

I-5 ある原子炉システムを考える。この原子炉の反応度変化として、温度上昇分を  $3\% \Delta k/k$ 、核分裂生成物（FP）蓄積分を  $4\% \Delta k/k$ 、燃焼度補償分を  $10\% \Delta k/k$ 、それぞれ見込む必要がある。また、制御棒を炉心に全挿入した場合の未臨界度を  $1\% \Delta k/k$  以上とる必要がある。この場合、制御棒に持たせるべき最低の反応度として最も適切なものはどれか。ただし、燃焼度補償分の反応度の設計値及び制御棒反応度の設計値にはそれぞれ相対値で10%の誤差が存在する。

- ①  $18\% \Delta k/k$       ②  $19\% \Delta k/k$       ③  $20\% \Delta k/k$
- ④  $21\% \Delta k/k$       ⑤  $22\% \Delta k/k$

I-6 シビアアクシデントに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 1979年に発生したスリーマイルアイランド2号機における事故では、溶融した炉心により原子炉圧力容器の貫通破損に至った。
- ② 溶融炉心が格納容器床面のコンクリートを侵食するコアコンクリート反応において、コンクリートの分解過程から可燃性ガスが発生する。
- ③  $UO_2$ がジルコニウム製の被覆管と共存する場合、 $UO_2$ 単体より低い温度で溶融物となる。
- ④ ジルコニウム製の被覆管と水蒸気が高温で反応するジルコニウム-水反応は発熱反応であり、この反応熱によりジルコニウム-水反応はさらに加速される。
- ⑤ BWRのMark-I型格納容器では、溶融した炉心が格納容器床面で広がり、格納容器壁面と直接接触して格納容器破損に至る格納容器直接接触（シェルアタック）と呼ばれる現象が想定されている。

I-7 次の記述は、発電用原子炉施設の高経年化に関する解説文である。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。

営業運転が開始して  ア 年が経過する前（その後  イ 年ごと）に、事業者は安全上重要な機器・構造物について、今後長期間運転することを想定した技術評価（高経年化に関する評価）を実施し、それに基づいた  ウ を策定し、保安規定に記載することが義務づけられています。そして、その内容について原子力規制委員会により厳格に審査され認可されます。 ウ を具体化した運転サイクルごとの実施内容を含めて、原子力発電所の点検実績は機器の  エ 状況等を踏まえた個別機器の点検・修繕の計画（保全計画）を運転サイクルごとに届け出て国の確認を受けることとなります。保全計画の実施内容については、保安検査や定期安全管理審査において確認しています。

	ア	イ	ウ	エ
①	30	1	定期保守計画	補修
②	30	1	定期保守計画	劣化
③	30	10	長期保守管理方針	劣化
④	40	1	定期保守計画	補修
⑤	40	10	長期保守管理方針	補修

I－8 発電用原子炉施設（PWR 及び BWR）の原子炉安全保護系における原子炉トリップ（スクラム）信号として、用いられていないものは次のうちどれか。

- ① 中性子束高
- ② 格納容器内放射能高
- ③ 原子炉圧力高
- ④ 主蒸気止め弁閉
- ⑤ 地震加速度大（高）

I－9 核燃料物質の加工の事業に関する規則及び使用済燃料の再処理の事業に関する規則において、事業者が貯蔵に関して採らなければならないとされている措置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 プルトニウム又はその化合物の貯蔵は、プルトニウム又はその化合物が漏えいするおそれがない構造の容器に封入して行うこと。ただし、グローブボックスその他の気密設備の内部において貯蔵を行う場合、その他プルトニウム又はその化合物が漏えいするおそれがない場合は、この限りでない。
- ② 核燃料物質の貯蔵は、貯蔵施設において行うこと。
- ③ 貯蔵施設の目につきやすい場所に、貯蔵上の注意事項を掲示すること。
- ④ 核燃料物質の貯蔵に従事する者以外の者の貯蔵施設への立入りを禁ずること。
- ⑤ 核燃料物質の貯蔵は、いかなる場合においても、核燃料物質が臨界に達するおそれがないように行うこと。

I-10 我が国の核燃料サイクル政策の状況について解説した次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

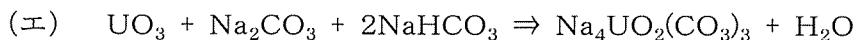
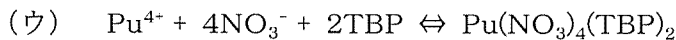
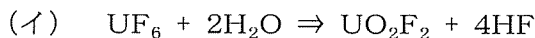
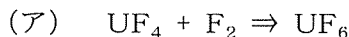
- ① 2010年時点でのエネルギー自給率は、原子力を国産としない場合は4.4%、化石燃料に比べて備蓄が容易なウラン燃料を用いる原子力を国産とみなした場合は19.5%であり、原子力は我が国のエネルギーセキュリティ確保の観点から重要な役割を果たしてきた。
- ② 2013年10月に総合資源エネルギー調査会において資源エネルギー庁から提出された資料「今後の原子力政策について」では、使用済燃料を直接処分する場合と、再処理後に高レベル廃棄物をガラス固化体として処分する場合とを比べると、両者の容積は同程度であるとされている。
- ③ プルトニウムは、軽水炉の使用済燃料の約1%（重量比）を占めるが、放射能あたりの人体への影響が大きな元素であり、これを廃棄するのではなく、リサイクルによってエネルギー源として有効利用しながら他の元素に変換していくことは、使用済燃料の潜在的有害度を低減する観点から意義が高い。
- ④ 再処理工程によって単離されたプルトニウムは核兵器に転用される可能性があるため、平和利用に徹する日本で核燃料サイクル政策を進めるには、核拡散抵抗性の高いプロセスを採用するとともに、国際原子力機関（IAEA）の査察に積極的に協力するなどして、国際社会からの理解を得ることが重要である。
- ⑤ 2005年10月に定められた「原子力政策大綱」では、全量再処理の場合は全量直接処分の場合に比べて発電コストが1割程度高いと試算されている。

I-11 我が国の原子力発電所及び原子力発電に関連する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 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主成分とする廃棄物を「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、発電所廃棄物、超ウラン核種を含む放射性廃棄物（長半減期低発熱放射性廃棄物）及びウラン廃棄物に区分されている。
- ③ 深地層処分は、高レベル放射性廃棄物を地下50～100 mの深さに最終処分する概念である。
- ④ 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場の設置可能性を調査する区域の公募を開始しているが、2015年に、国が前面に立って取り組むことが閣議決定された。
- ⑤ 低レベル放射性廃棄物のうち発電所廃棄物の処分を、青森県六ヶ所村にある日本原燃株式会社の低レベル放射性廃棄物埋設センターにおいて行っている。

I-12 以下の（ア）～（エ）は核燃料サイクルにおいて用いられる化学反応である。この化学反応と核燃料サイクルにおける施設の組合せとして最も適切なものはどれか。

化学反応



	（ア）	（イ）	（ウ）	（エ）
①	採鉱・粗製錬	転換	再転換	再処理
②	採鉱・粗製錬	再転換	転換	再処理
③	転換	再転換	採鉱・粗製錬	再処理
④	転換	再転換	再処理	採鉱・粗製錬
⑤	再転換	転換	再処理	採鉱・粗製錬



I-13 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低くなる。
- ④ 放射線感受性は、細胞の増殖能力の程度に比例し、分化が進んだ細胞ほど高い。
- 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-14 放射線計測に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 光電子増倍管は、シンチレータに入射する放射線によって発生した微弱な光を電子に変換し、多段のダイノードによって増幅するが、その増幅率は高く通常 $10^6$ 程度である。
- ② 整流作用を持つ半導体接合に電気が流れない方向に電圧をかけると、ほとんど電子が存在しない、非常に大きな電気抵抗値を持つ領域が作られる。この領域を空乏層又は空乏領域という。
- ③ パルス型検出器では、次々に入射する放射線がパルス幅の短い別々のパルスを作る必要がある。パルスの幅は検出器の不感時間を決め、計数率が高い場合には計数損失をもたらす。
- ④ 光子と物質との相互作用では光電効果、コンプトン効果、電子対生成等の相互作用を起こすことが知られている。0.1 MeVの光子がヨウ素 ( $Z=53$ ) に入射したときに起こす相互作用は主に電子対生成である。
- ⑤  $\gamma$ 線スペクトル測定において、電子対消滅による0.511 MeVのピークの半値幅は、他の $\gamma$ 線のピークと比較して、ドップラー効果により若干広がっている。

I-15 放射線の生物効果比 (RBE) は、放射線の線エネルギー付与 (LET) によって大きく異なる。種々のガンマ線のうち、0.2~0.3 keV/ $\mu$ mのLETを示すガンマ線のRBEとして最も適切なものはどれか。

- ① 0.1      ② 0.5      ③ 1      ④ 5      ⑤ 10

I-16 真空中を光速に近い速度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、次のうち最も適切なものはどれか。

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

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 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。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 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。
- ⑤ 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。

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1,200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，次のうちどれか。ただし，このGM計数装置の分解時間は十分小さいものとする。

- ①  $90 \pm 1.5$                       ②  $900 \pm 15$                       ③  $900 \pm 88$
- ④  $5,400 \pm 88$                       ⑤  $540 \pm 8.8$

I-19 ICRP（国際放射線防護委員会）勧告における組織加重（荷重）係数は，新たな知見を基に変更されてきているが，次の器官の組織加重係数が，1990年勧告から2007年勧告によって，半分以下の小さな値に変更されたものはどれか。

- ① 生殖腺                      ② 甲状腺                      ③ 肺                      ④ 皮膚                      ⑤ 乳房

I-20 体積 $10 \text{ cm}^3$ の空洞に空気を満たした空気電離箱にガンマ線を照射する。空気を電離して得られる測定電流が $0.1 \text{ nA}$ のとき，空気の吸収線量率（Gy/s）に最も近い値はどれか。ただし空気の密度を $1.2 \text{ kg/m}^3$ ，電子による空気のW値（1イオン対を生成するのに必要なエネルギー）は $34 \text{ eV}$ ，素電荷は $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。電離箱の壁は空気と類似の化学組成とし，壁でのガンマ線の減衰は無視する。

- ①  $3 \times 10^{-4}$                       ②  $3 \times 10^{-3}$                       ③  $3 \times 10^{-2}$                       ④  $3 \times 10^{-1}$                       ⑤ 3