

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 2014年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画における原子力に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 原子力は、安全性の確保を大前提に、エネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源である。
- ② 原子力発電所の安全性については、原子力規制委員会の専門的な判断に委ね、原子力規制委員会により世界で最も厳しい水準の規制基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し原子力発電所の再稼働を進める。
- ③ 原発依存度については、省エネルギー・再生可能エネルギーの導入や水素の利用などにより、可能な限り低減させるとの方針の下で、2030年代に原発稼働ゼロを可能とするよう、あらゆる政策資源を投入する。
- ④ 原子力利用に伴い確実に発生する使用済燃料問題は、世界共通の課題であり、将来世代に先送りしないよう、現世代の責任として、国際的なネットワークを活用しつつ、その対策を着実に進めることが不可欠である。
- ⑤ 核燃料サイクル政策については、これまでの経緯等も十分に考慮し、関係自治体や国際社会の理解を得つつ、再処理やプルサーマル等を推進するとともに、中長期的な対応の柔軟性を持たせる。

I-2 高速増殖原型炉「もんじゅ」に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 液体金属ナトリウムを冷却材として用いている。
- ② 原子炉容器は低合金鋼製である。
- ③ 主冷却系ループは3ループである。
- ④ 蒸気発生器は、蒸発器と過熱器に分かれている。
- ⑤ 熱効率はPWRよりも良い。

I-3 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位置、構造及び設備の基準に関する規則」の第12条（安全施設）第2項から引用した次の記述の、に入る語句の組合せとして最も適切なものはどれか。

安全機能を有する系統のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するものは、当該系統を構成する機械又は器具のが発生した場合であって、が利用できない場合においても機能できるように、当該系統を構成する機械又は器具の機能、構造及びを考慮して、多重性又はを確保し、及びを確保するものでなければならない。

	ア	イ	ウ	エ	オ
①	単一故障	外部電源	位置	多様性	信頼性
②	機能喪失	非常用電源	動作原理	冗長性	独立性
③	重大事故	外部電源	性能	多様性	信頼性
④	単一故障	外部電源	動作原理	多様性	独立性
⑤	機能喪失	非常用電源	位置	冗長性	信頼性

I-4 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位置、構造及び設備の基準に関する規則」において定められている設計基準対象施設が満たすべき要件として、次のうち最も不適切なものはどれか。

- ① 運転時の異常な過渡変化時においては、最小限界熱流束比又は最小限界出力比が許容限界値以上であること、燃料被覆材が破損しないものであること、及び燃料材のエンタルピーが燃料要素の許容損傷限界を超えないこと。
- ② 運転時の異常な過渡変化時においては、原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力が最高使用圧力以下となること。
- ③ 設計基準事故時においては、炉心の著しい損傷が発生するおそれがないものであり、かつ、炉心を十分に冷却できるものであること。また、燃料材のエンタルピーが炉心及び原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性を維持するための制限値を超えないこと。
- ④ 設計基準事故時においては、原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力が最高使用圧力の1.2倍以下となること。
- ⑤ 設計基準事故時においては、原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力及び原子炉格納容器バウンダリにおける温度が最高使用圧力及び最高使用温度以下となること。

I-5 原子炉の出力を100%出力から50%出力にステップ状に変化させたとき、原子炉内のキセノン (Xe) 135濃度はどのように変化するかを説明している次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① キセノン濃度は一旦低下するが、やがて上昇して100%出力時のキセノン濃度に達し一定となる。
- ② キセノン濃度は一旦上昇するが、やがて低下して100%出力時のキセノン濃度に達し一定となる。
- ③ キセノン濃度は一旦低下するが、やがて上昇して50%出力時のキセノン濃度に達し一定となる。
- ④ キセノン濃度は一旦上昇するが、やがて低下して50%出力時のキセノン濃度に達し一定となる。
- ⑤ キセノン濃度は単調に低下し、50%出力時のキセノン濃度に達し一定となる。

I-6 原子炉の運転に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① 軽水炉の反応度投入事象において、反応度投入直後に生じる急激な出力上昇は、制御棒による原子炉緊急停止によって抑制される。
- ② 軽水炉の出力運転中に制御棒を引き抜くと、出力は安定ペリオドに従って上昇し続け、出力は一定になることはない。
- ③ 核分裂の際に発生する遅発中性子の割合は、一般的に核分裂で発生する中性子全体の1%以下であるが、原子炉の動特性に大きな影響を与える。
- ④ 崩壊熱は、燃料などに含まれるキュリウム (Cm) などの自発核分裂から放出される中性子によって、未臨界状態で発生する核分裂反応により生じるものである。
- ⑤ 軽水炉燃料の燃焼度は、一般的にMWd/t 又はGWd/t の単位で表す。これは、燃料 (UO₂等) の酸化物重量1トン当たりの発熱量を表す。

I-7 我が国の原子力施設において、過去に様々な原因による事故・事象等を経験してきている。次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

① 福島第二原子力発電所3号機原子炉再循環ポンプ損傷事象（1989年1月発生）

原子炉再循環ポンプの水中軸受けリングがポンプ運転に伴う冷却材の圧力変動で共振したことによりリング溶接部が損傷し、ポンプを運転し続けた間に金属粉等が原子炉に流入した。

② 美浜発電所2号機蒸気発生器伝熱管損傷事象（1991年2月発生）

蒸気発生器の伝熱管の損傷により1次冷却材が2次系に流出。モニタの警報発信後、出力降下を開始。降下操作開始後直ちに原子炉が自動停止し、非常用炉心冷却系が作動した。

③ 高速増殖原型炉「もんじゅ」2次冷却系からのナトリウム漏洩事故（1995年12月発生）

2次主冷却系配管のナトリウム温度計のさや管が、配管内を流れるナトリウムの流力振動により疲労折損。2次冷却系のナトリウムが系外に流出し、直ちに火災報知器が発報した。

④ JCOウラン加工工場臨界被ばく事故（1999年9月発生）

手順書を無視して、臨界形状管理がなされていない「沈殿槽」に濃縮度18.8%の硝酸ウラン溶液を注入。その結果臨界状態に達し、その後1時間以内に臨界状態は終息した。

⑤ 浜岡原子力発電所1号機余熱除去系配管破断事故（2001年11月発生）

余熱除去系蒸気凝縮系配管の一部（立ち上がり部）に原子炉水の放射線分解によって生じた水素と酸素が蓄積。高圧炉心注入系の定期作動試験開始直後、蓄積した水素と酸素の急速燃焼の結果生じた急激な圧力上昇により配管が破断。蒸気漏洩を検知して、元弁が自動的に閉まって漏洩は停止した。

I-8 非破壊試験（非破壊検査）に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

① 浸透探傷試験は、内部の傷を調べるために用いられる。

② 渦流探傷試験（電磁誘導試験）は、導電性材料の深い内部の傷を調べるために用いられる。

③ 超音波探傷試験は、主として溶接部表面の傷を調べるために用いられる。

④ 放射線透過試験は、主に供用期間中の原子炉圧力容器に用いられる。

⑤ 磁粉探傷試験は、強磁性材料の表面又は表面直下の傷を調べるために用いられる。

I-9 ウラン濃縮に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 100万kWe軽水炉に必要な濃縮役務量は約60 tSWU/年である。
- ② UF₆は激しく水と反応する。
- ③ レーザ法の理論分離係数はガス拡散法及び遠心分離法より極めて大きい。
- ④ ガス拡散法の理論分離係数は²³⁵UF₆と²³⁸UF₆の質量比に依存する。
- ⑤ 遠心分離法の理論分離係数は²³⁵Uと²³⁸Uの質量差に依存する。

I-10 再処理工場の使用済燃料貯蔵プールの過酷事故の進展について問う。

前提：使用済燃料の貯蔵容量は1400体、冷却期間は200日、その崩壊熱の総量は25.4 MWとする。使用済燃料集合体を除いたプールの水量を12000 m³とする。また、沸騰により8500 m³のプール水が蒸発すると、燃料棒の一部が露出する。水面やプール壁面及び底面からの放熱及び燃料集合体の熱容量は考慮しないものとする。なお、1J=0.239 cal、蒸発潜熱は2237.8 kJ/kgとする。

上記の前提から、次の記述の□に入る数値の組合せとして最も適切なものはどれか。

プールの冷却系が故障し、初期に40℃であったプール水が100℃になるまでに要する時間は約□ア□時間である。

プール水が沸騰により蒸発して、燃料棒の一部が露出するまでに要する時間はプール水が沸騰を開始してから約□イ□時間である。

- | | ア | イ |
|---|----|-----|
| ① | 10 | 20 |
| ② | 10 | 100 |
| ③ | 33 | 100 |
| ④ | 33 | 210 |
| ⑤ | 33 | 420 |

I-11 原子燃料に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 二酸化ウラン燃料の融点は約2800℃である。
- ② 二酸化ウラン燃料の融点は、混合酸化物燃料の融点より高い。
- ③ 高速炉用燃料ピンの直径が軽水炉用燃料ピンより細いのは、出力密度が低いためである。
- ④ 軽水炉（PWR）において燃焼度3万MWd/tで使用済みとなった燃料中のプルトニウムの含有率（重量比）は約1%である。
- ⑤ 軽水炉（PWR）において燃焼度3万MWd/tで使用済みとなった燃料中の核分裂生成物の含有率（重量比）は約3%である。

I-12 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 世界で最初に原子力発電を行ったのは、米国の高速実験炉EBR-1である。
- ② 日本の原子力開発は1953年の国連総会でのアイゼンハワー米国大統領の演説が一つのきっかけとなっている。
- ③ ウラン資源も輸入に頼らざるを得ない我が国では、当初からウラン利用効率を上げるため「再処理リサイクル」路線が選択された。
- ④ 1973年の第1次オイルショック以降、我が国では石油依存を低下させるべく原子力の利用拡大が加速された。
- ⑤ 2010年3月末時点で、我が国のすべての電源による発電設備容量は約4,900万kWに至り、原子力発電は総発電電力量の約3割を支える基幹電源へと成長した。

I-13 次の記述の、に入る語句の組合せとして最も適切なものはどれか。

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、半減期が最も長いアから、最も短いイまでの4核種が利用されている。

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

I-14 X線や γ 線のエネルギーが物質に吸収される過程で起こるコンプトン効果に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 0.1 MeVの光子と炭素の相互作用は、主にコンプトン効果で起こる。
- ② 0.1 MeVの光子と鉛の相互作用は、主にコンプトン効果で起こる。
- ③ 1.0 MeVの光子と炭素の相互作用は、主にコンプトン効果で起こる。
- ④ 1.0 MeVの光子と鉛の相互作用は、主にコンプトン効果で起こる。
- ⑤ 10 MeVの光子と炭素の相互作用は、主にコンプトン効果で起こる。

I-15 生物の放射線感受性は生物種間で大きく異なることが知られている。細菌などの単細胞の半数致死線量は1k～数kGyと非常に大きいものもあるが、ヒトの半数致死線量に最も近い値はどれか。

- ① 4 mGy
- ② 40 mGy
- ③ 0.4 Gy
- ④ 4 Gy
- ⑤ 40 Gy

I-16 水に対する放射線作用に関する次の記述の、に入る語句の組合せとして最も適切なものはどれか。

水分子が放射線のエネルギーを吸収すると ア や イ が起きる。ア で生じた H_2O^+ と e^- の一部は再結合して ウの水分子を形成する。ウの水分子は分解してOH, H, H_2 , Oなどの原子や分子を生じる。再結合を逃れた H_2O^+ は周りの水分子と反応して H_3O^+ と エを生ずる。また、再結合を逃れた電子の一部は熱化の後、周りの水分子と強い配向構造を形成し安定化したオとなる。

- | | ア | イ | ウ | エ | オ |
|---|----|----|------|----|------|
| ① | 励起 | 電離 | 励起状態 | O | 水和電子 |
| ② | 励起 | 電離 | 基底状態 | OH | 熱化電子 |
| ③ | 電離 | 励起 | 励起状態 | O | 熱化電子 |
| ④ | 電離 | 励起 | 励起状態 | OH | 水和電子 |
| ⑤ | 電離 | 励起 | 基底状態 | O | 熱化電子 |

I-17 放射線の防護と健康影響に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① ジェット機の乗務員の宇宙線被ばくは、国際放射線防護委員会 (ICRP)の1990年勧告では、放射線防護の対象とすべきとされている。
- ② 末梢血中の赤血球はリンパ球に比べ放射線感受性は高い。
- ③ 広島・長崎で胎児期に、原爆により被ばくした子供の精神発達遅滞の調査では、受精後8週から25週の時期の放射線感受性が高い。
- ④ 放射線誘発がんの潜伏期間は長い。潜伏期間が短いとされている白血病の場合でも最小潜伏期間は2年である。
- ⑤ 放射線の確率的影響は、放射線防護上しきい線量は存在せず、発生確率(頻度)は線量の増加とともに増えると仮定されている。

I-18 国際放射線防護委員会（ICRP）が勧告する放射線防護の基本的考え方に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 放射線防護上、放射線被ばく対象は、職業被ばく、公衆被ばく、医療被ばくの3つに区分される。
- ② 放射線防護の目的では、個人の確定的影響の発生を防止すること、確率的影響の発生を制限することなどが挙げられている。
- ③ 行為の正当化とは、「正味の便益のあることが確実な場合以外は、放射線被ばくを伴う行為（あるいは線源）を導入（あるいは利用）してはならないこと」をいう。
- ④ 防護の最適化とは、「経済性や社会性にとらわれることなく、実行可能な対策をすべて講じること」をいう。
- ⑤ 医療被ばくには、職業被ばくや公衆被ばくに適用される線量限度は存在しない。

I-19 バイオアッセイ法を用いた体内放射能の測定と評価に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 対象試料となるものは主に、尿、便であるが、鼻汁、血液、痰、呼気も使用されることがある。
- ② α 線あるいは β 線のみしか放出せず、体外計測法の適用が困難な核種に有効な方法である。
- ③ 排泄物等の試料中の放射性物質を直接測定することから直接法と呼ばれる。
- ④ 一般的には測定用の試料を作成するまで試料採取や化学分析処理に時間を要する。
- ⑤ 超ウラン元素の中にはバイオアッセイ法を用いなくとも測定できる核種がある。

I-20 自然放射線が高いことが知られている次の場所のうち、その高い原因が大地からの放射線ではない場所はどれか。

- ① イランのラムサール
- ② ボリビアのラパス
- ③ ブラジルのガラパリ
- ④ 中国の陽江
- ⑤ インドのケララ