

Ⅲ 次の35問題のうち25問題を選択して解答せよ。(解答欄に1つだけマークすること。)

Ⅲ－1 熱中性子による $^{235}\text{U}$ の核分裂に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① 発生するエネルギーの80%以上が、核分裂片の運動エネルギーである。
- ② 核分裂生成物の生成確率である核分裂収率の総和は2.0となる。
- ③ 即発中性子は、平均エネルギー約2 MeVの高速中性子である。
- ④ 1回の核分裂反応に伴い発生する中性子数は、平均で約2.4個である。
- ⑤ 核分裂断面積は、1 eV以下では中性子のエネルギーの逆数にほぼ比例する。

Ⅲ－2 次の記述の、に入る数値として、最も近い値はどれか。

1 g の $^{235}\text{U}$ の核分裂により発生するエネルギーは、約MW日に相当する。ただし、 $^{235}\text{U}$ 原子1個の核分裂によって発生するエネルギーを200MeV、 $1\text{ eV}=1.6\times 10^{-19}\text{ J}$ 、アボガドロ数を $6.0\times 10^{23}$ とする。

- ① 1            ② 10            ③ 100            ④ 1,000            ⑤ 10,000

Ⅲ－3 我が国に導入されている加圧水型軽水炉（PWR）と沸騰水型軽水炉（BWR）で使用されている核燃料に関する次の記述のうち、適切なものはどれか。

- ①  $^{235}\text{U}$ 濃縮度を20%以上に高めた濃縮ウランが用いられている。
- ②  $^{238}\text{U}$ が中性子捕獲したのち $\alpha$ 壊変を繰り返すと $^{239}\text{Pu}$ が生成する。
- ③ 燃料棒にはアルゴンガスが封入されている。
- ④ 燃料棒の被覆管にはステンレス鋼が用いられている。
- ⑤ 一部の燃料ペレットに可燃性毒物であるガドリニアを混入している。

III-4 バックリングに関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。ただし  $k_{\infty}$  は無限増倍率、 $M^2$  は移動面積、 $\phi$  は中性子束とする。

- ① 原子炉方程式  $\nabla^2\phi + B^2\phi = 0$  を満足する  $B^2$  は、形状バックリングである。
- ② 外挿距離を含む一辺の長さ  $a$  の立方体の形状バックリングは  $3\left(\frac{\pi}{a}\right)^2$  で与えられる。
- ③ 形状バックリングが大きい炉心ほど、炉心からの中性子の漏れは小さい。
- ④ 臨界方程式  $\frac{k_{\infty}}{1+M^2B^2} = 1$  を満足する  $B^2$  を、材料バックリングという。
- ⑤ 材料バックリングと形状バックリングが等しいとき、臨界となる。

III-5 次の表は、3つの減速材（軽水、重水、黒鉛）の減速・拡散の特性（ $\xi$  : 1回の衝突当たりのエネルギーの平均対数減衰率、など）を示した表である。これを参考にして、次の記述のうち、不適切なものはどれか。

	軽水	重水	黒鉛
$\xi$	0.93	0.51	0.16
減速能 $\xi \Sigma_s$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	1.5	0.18	0.063
減速比 $\xi \Sigma_s / \Sigma_a$	70	2100	170
拡散係数 $D$ (cm)	0.18	0.85	0.92
拡散距離 $L$ (cm)	2.88	100	50
フェルミ年齢 ( $\text{cm}^2$ )	33	120	350

- ① 熱中性子の一番透過しやすい減速材は軽水である。
- ② 散乱に対する平均自由行程の一番短い減速材は軽水である。
- ③ 1回の散乱当たり失うエネルギーの一番大きい減速材は軽水である。
- ④ 移動面積  $M^2$  (migration area) の一番大きい減速材は重水である。
- ⑤ 熱中性子の巨視的吸収断面積の一番小さい減速材は重水である。

Ⅲ－６ 我が国に導入されている加圧水型軽水炉（PWR）と沸騰水型軽水炉（BWR）の運転・制御に関する次の記述のうち、適切なものはどれか。

- ① PWRでは、制御棒吸収材として銀・インジウム・カドミウム合金を用いた、燃料集合体間の隙間に挿入する十字型制御棒が使用される。
- ② BWRでは、再循環流量を調整することにより、炉心内の冷却材の密度変化に伴う中性子吸収の変化を利用して、原子炉の出力を制御することができる。
- ③ BWRでは、主に冷却材に混ぜるホウ素濃度を調整するケミカルシムによって、燃焼に伴う反応度変化を補償する。
- ④ BWRで用いられる燃料集合体に導入されているウォーターロッドには、核分裂反応が起こりにくい燃料集合体断面中央部での、中性子減速効果を高める役割がある。
- ⑤ PWRやBWRには自己制御性があり、これは主としてドップラー効果やボイド効果、減速材温度効果による、反応度変化を促進する効果である。

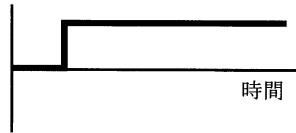
Ⅲ－７ 原子力発電所の機器・構造物の損傷や経年劣化事象に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① コンクリート構造物の経年劣化事象の代表例では、コンクリート中の水酸化カルシウムと大気中の二酸化炭素との反応によってコンクリートのpHが表面から徐々に低下し、鉄筋の保護機能が失われ、鉄筋が腐食して膨張し、コンクリートのひび割れが生じる。
- ② 粒界型応力腐食割れは、溶接熱影響による材料の鋭敏化、高溶存酸素の水環境、高引張応力の3要因がある一定の条件を満たした場合に発生し、結晶粒界に沿って割れが進展する。
- ③ 蒸気と液滴が混在する蒸気系配管において、加速された液滴が配管壁面に衝突して発生する大きな衝撃力によって、その配管表面の酸化膜あるいは母材そのものが浸食される現象が液滴衝撃エロージョンで、流れの変化が大きい配管部位で発生しやすい。
- ④ 流れ加速型腐食は、水単相流若しくは管壁に液膜が形成されるような水・蒸気二相流の流動条件において、管壁近傍の流れによって母材の酸化・溶解が促進されて、腐食が加速する減肉現象で、流れの乱れが小さい直線部の配管で主に発生する。
- ⑤ 電気・計装設備に用いられるケーブルでは、熱や放射線等によって絶縁部に使用されているゴムやプラスチック等が時間経過とともに変質して絶縁低下が生じる。発電機や変圧器では、通電により内部で発生する熱等によって同様の絶縁低下が生じる。

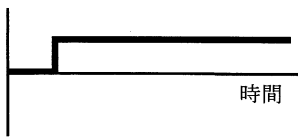
Ⅲ－8 次の記述の  に入る図記号の組合せとして、適切なものはどれか。

原子力発電プラントで使用されている制御方式としてPID制御がある。この制御方式は比例要素，積分要素，及び微分要素で構成される。

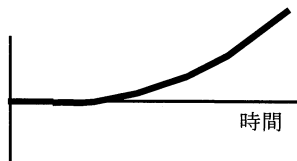
偏差信号がステップ関数（問題図）である場合，比例要素，積分要素，及び微分要素の出力（時間特性）に対応する図は各々  a  b  c である。これらを重ね合わせた結果として得られるPID制御の出力（時間特性）は  d となる。



問題図 偏差信号の時間特性



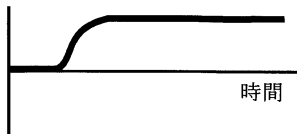
図A



図B



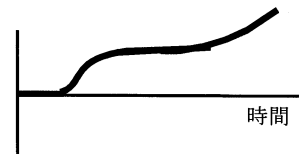
図C



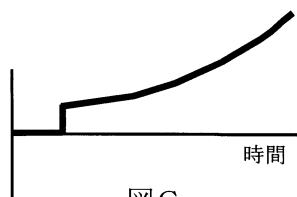
図D



図E



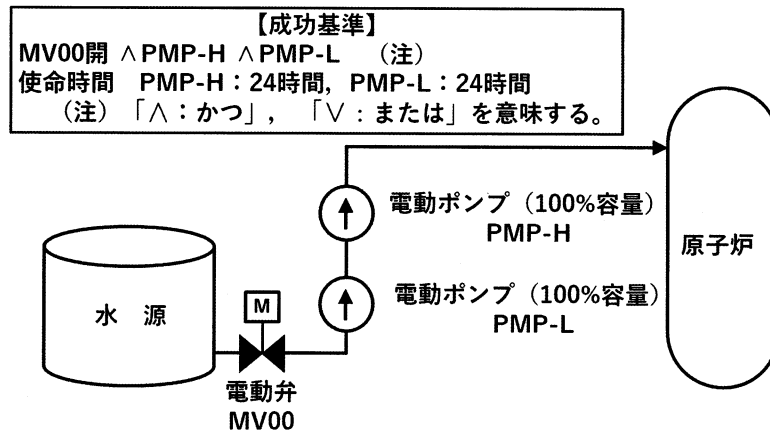
図F



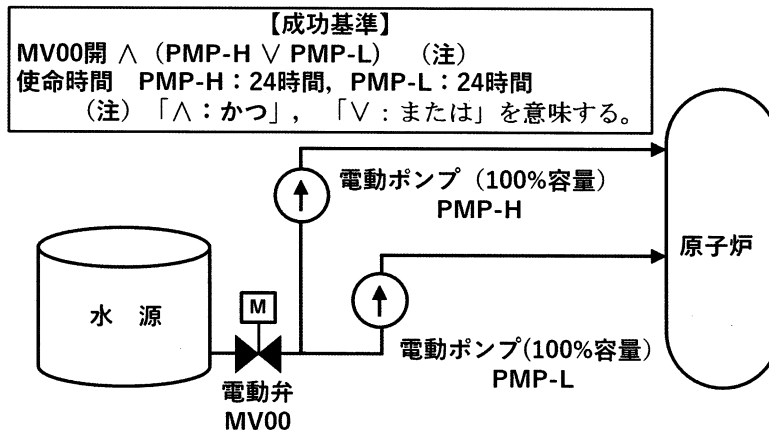
図G

- |   | <u>a</u> | <u>b</u> | <u>c</u> | <u>d</u> |
|---|----------|----------|----------|----------|
| ① | 図C       | 図B       | 図D       | 図F       |
| ② | 図A       | 図C       | 図E       | 図G       |
| ③ | 図C       | 図B       | 図E       | 図F       |
| ④ | 図A       | 図C       | 図D       | 図F       |
| ⑤ | 図C       | 図B       | 図E       | 図G       |

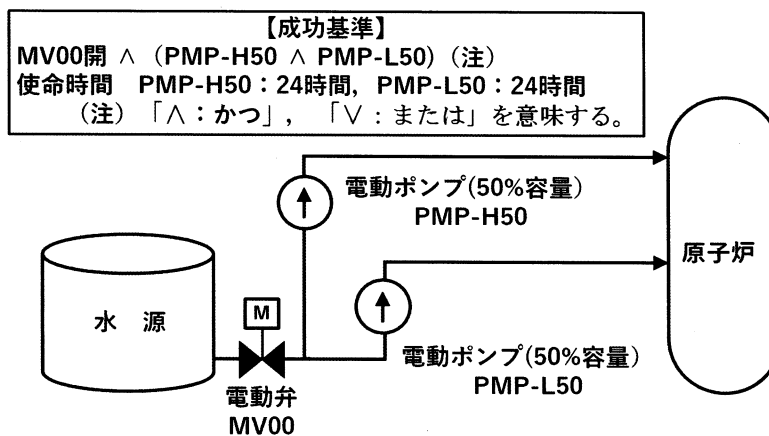
Ⅲ－9 次の原子炉注水システムの非信頼度の大小関係として、適切なものはどれか。



原子炉注水システムA



原子炉注水システムB



原子炉注水システムC

【共通の仮定】

1. 水源は無限量を有し、枯渇、タンクの破損、タンク出口の閉塞は考慮しない。また、配管及び機器（電動弁及び電動ポンプ）の破損・リークは考慮しない。
2. 注水システムの成功基準（使命を達成する基準）を各図に示す。ポンプ容量について、100%とは機能達成にポンプ1台が必要であり、50%とはポンプ2台が必要であるとする。
3. 運転員等による回復操作は期待しない。
4. 定例試験等における系統・トレンの待機除外は考慮しない。
5. 信号、補機冷却水、電源等のサポート機能の喪失は考慮しない。
6. 系統を構成する機器の故障モード及び故障率は以下を想定する（記載のない故障モード及び故障率は考慮しないこと）。

<u>機 種</u>	<u>想定する故障モード</u>	<u>故障率</u>
電動弁	開失敗	$6.8 \times 10^{-5}$ (／demand)
電動ポンプ	起動失敗	$1.2 \times 10^{-4}$ (／demand)
電動ポンプ	継続運転失敗	$8.1 \times 10^{-7}$ (／h)

7. 各システムのポンプは揚程等が異なるとし、多重化された機器とは見なさないため、共通原因故障は考慮しない。

- ① 原子炉注水システムA > 原子炉注水システムB = 原子炉注水システムC
- ② 原子炉注水システムB = 原子炉注水システムA > 原子炉注水システムC
- ③ 原子炉注水システムC > 原子炉注水システムB = 原子炉注水システムA
- ④ 原子炉注水システムA = 原子炉注水システムC > 原子炉注水システムB
- ⑤ 原子炉注水システムB > 原子炉注水システムA = 原子炉注水システムC

Ⅲ-10 次の記述の□に入る語句の組合せとして、適切なものはどれか。

気液二相流には気相と液相の流量割合に応じて種々の流動様式がある。垂直加熱管下端から流入した液相単相の垂直上昇流の場合、管壁面からの加熱により連続的に相変化を生じ、垂直管下部から液相単相流、□A□流、□B□流、□C□流、□D□流、□E□流、気相単相流となる。

□A□流では連続相である液相の中で□A□が分散して分布する。

□B□流では□A□が成長し、ほぼ流路口径と等しくなる。

□C□流は□B□流での大きな□A□の分裂により生じる。

さらに、気相割合が増加すると流路中心部は気相で占められ、加熱壁面上に液膜が生じる□D□流となる。

□E□流では気相が連続相となり、その中を液滴が分散して流れる。

	A	B	C	D	E
①	気泡	スラグ	チャーン	環状	噴霧
②	スラグ	噴霧	気泡	チャーン	環状
③	気泡	チャーン	スラグ	環状	噴霧
④	スラグ	気泡	チャーン	噴霧	環状
⑤	気泡	チャーン	スラグ	噴霧	環状

Ⅲ-11 次の記述の□に入る語句又は記号の組合せとして、適切なものはどれか。

核分裂反応後に2ないし3個の中性子が放出される。この中性子の大部分は核分裂直後に放出されるが、ごくわずかな割合の中性子が時間遅れを持って放出される。時間遅れを持って中性子を放出する核分裂生成物の1つに $^{87}\text{Br}$ がある。この核は $\beta^-$ 壊変をして励起状態の□Aに壊変する。

壊変によって作られた核は、通常、 $\gamma$ 線を放出して基底状態の核となるが、□Aの場合は以下の過程により中性子を放出する。

- a. □Aは、魔法の数 (Magic Number) 50よりも中性子数が1個多いため、51番目の中性子の結合エネルギーが非常に□Bなる。
- b.  $^{87}\text{Br}$ からの $\beta^-$ 壊変による□A (励起状態) は、上記の結合エネルギーより□C励起状態になる場合がある。
- c. □A (励起状態) に対して、 $\gamma$ 幅 ( $\Gamma_\gamma$ ) より中性子幅 ( $\Gamma_n$ ) が□Dので、□A (励起状態) の一部は $\gamma$ 線を放出せず、中性子を放出する。

このような過程による中性子放出は $^{87}\text{Br}$ の半減期で支配されるため、中性子放出は $^{87}\text{Br}$ の半減期をもって起こるようにみえる。

	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>
① $^{87}\text{Kr}$	大きく	高い	小さい	
② $^{87}\text{Se}$	小さく	低い	大きい	
③ $^{87}\text{Kr}$	大きく	低い	小さい	
④ $^{87}\text{Se}$	大きく	低い	小さい	
⑤ $^{87}\text{Kr}$	小さく	高い	大きい	



Ⅲ－12 深層防護の概念に基づく安全設計に係る次の記述の□に入る語句の組合せとして、適切なものはどれか。

同一の機能を有する同一の性質の系統又は機器が2つ以上あることを□A□という。  
 同一の機能を有する異なる性質の系統又は機器が2つ以上あることを□B□という。そして、共通要因によって同時にその機能が損なわれないよう、2つ以上の系統又は機器が、想定される環境条件及び運転状態において、物理的方法その他の方法によりそれぞれ互いに分離することを□C□という。

深層防護の概念との関係を整理すると、□A□，□B□，□C□は、深層防護の概念に基づいた安全設計において、ある防護レベルの□D□を高めるための手段であり、このうち□C□は□A□，□B□が効果を発揮するための前提条件である。

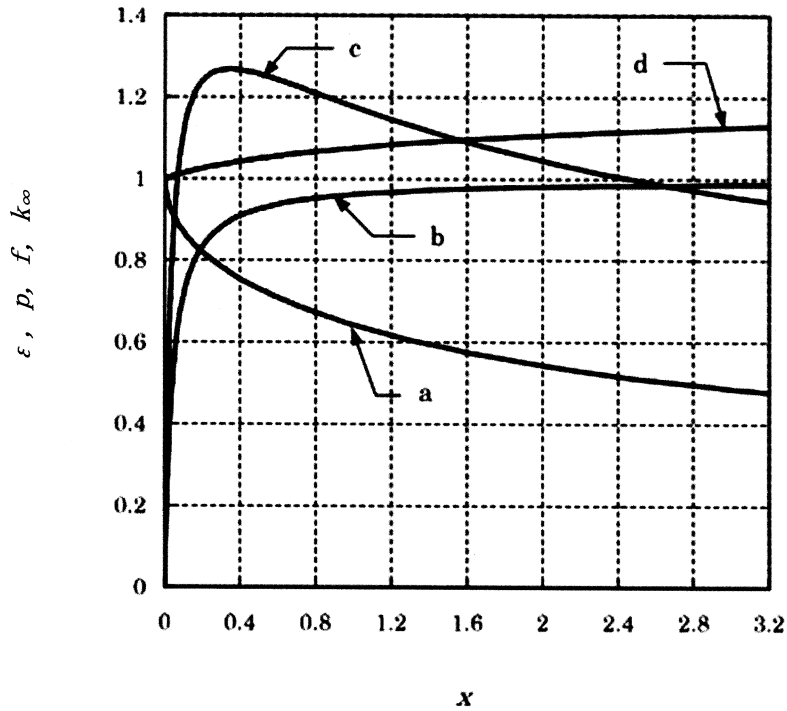
そして□E□は□A□の適切性を確認するための1つの手段である。

- |   | <u>A</u> | <u>B</u> | <u>C</u> | <u>D</u> | <u>E</u> |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| ① | 多重性      | 多様性      | 独立性      | 信頼性      | 単一故障基準   |
| ② | 多様性      | 多重性      | 独立性      | 可用性      | 単一故障基準   |
| ③ | 独立性      | 多重性      | 多様性      | 信頼性      | 分解点検     |
| ④ | 独立性      | 多様性      | 多重性      | 信頼性      | 分解点検     |
| ⑤ | 多重性      | 独立性      | 多様性      | 可用性      | 単一故障基準   |

Ⅲ－13 沸騰水型軽水炉（BWR）のシビアアクシデント時に燃料棒や制御棒などが溶融する場合の高温挙動のうち、（a）ステンレス鋼の融点、（b）ジルカロイの融点、（c）ステンレス鋼と炭化ホウ素（B<sub>4</sub>C）の間で溶融が始まる温度（共晶温度）を高いものから順に並べたものとして適切なものはどれか。

- ① (a) > (b) > (c)
- ② (a) > (c) > (b)
- ③ (b) > (a) > (c)
- ④ (b) > (c) > (a)
- ⑤ (c) > (b) > (a)

Ⅲ-14 下図は低濃縮ウランと水との均質な混合物について、横軸をウランと水との混合割合  $x$  (ウランの原子個数密度/水の分子個数密度) とし、4 因子公式 ( $k_{\infty} = \epsilon p f \eta$ ) に用いられるパラメータ、 $\epsilon$  (高速核分裂効果)、 $p$  (共鳴吸収を逃れる確率)、 $f$  (熱中性子利用率)、 $k_{\infty}$  (無限増倍率) を表した曲線である。図中の a, b, c, d の曲線に該当するパラメータの組合せとして、適切なものはどれか。ただし、4 因子のうち  $\eta$  (中性子再生率) は一定として、図には示していない。



	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>
①	$k_{\infty}$	$\epsilon$	$p$	$f$
②	$\epsilon$	$p$	$f$	$k_{\infty}$
③	$f$	$k_{\infty}$	$p$	$\epsilon$
④	$p$	$f$	$k_{\infty}$	$\epsilon$
⑤	$\epsilon$	$p$	$k_{\infty}$	$f$

Ⅲ－15 気体の電離を利用した放射線検出器（ガス入り検出器）に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① ガス入り検出器は、放射線がガス中を通過する際に起こす電離作用を利用して動作する。
- ② ガス入り検出器はその動作領域で名前を付けられており、再結合領域、電離箱領域、比例領域、制限比例領域、ガイガーミュラー領域、放電領域の6つの領域で使用される。
- ③ 比例計数管は比例領域で動作し、計数管内で電荷増幅が起こるが、計数管内ガスに付与されたエネルギーに比例した出力信号がえられる。
- ④ ガイガーミュラー計数管は、ガイガーミュラー領域で動作し、どの種類の電離性放射線に対しても使用できる。
- ⑤ 電離箱は電離箱領域で動作し、比例計数管と異なり電荷増幅は起こらないものの、ガスに付与されたエネルギーに比例した出力信号がえられる。

Ⅲ－16 放射線検出器に利用されるシンチレータに関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① NaI (Tl) は $\gamma$ 線の測定に適する。
- ② ZnS (Ag) は $\alpha$ 線の測定に適するが、スペクトル測定に不向きである。
- ③ LaBr<sub>3</sub> (Ce) は $\gamma$ 線のエネルギー分解能に優れており、バックグラウンドのすぐ上でスペクトルを測定するような低計数率の場合に適する。
- ④ 液体の有機シンチレータは、測定試料をシンチレータと混合して、 $\alpha$ 線や $\beta$ 線の測定に用いるのが一般的である。
- ⑤ 有機シンチレータは平均原子番号が低いため $\beta$ 線の検出に適している。

Ⅲ-17 中性子検出又は中性子エネルギー測定に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① 高速中性子検出の最も一般的な方法は中性子の弾性散乱反応に基づくものであり、入射中性子は運動エネルギーの一部を散乱核に与えて反跳原子核を発生する。
- ② 通常、水素含有シンチレータで発生する反跳陽子の飛程はシンチレータの寸法に比べ長いので、そのすべてのエネルギーをシンチレータに付与する。
- ③ 陽子反跳テレスコープは、有機分子で構成されたラジエータから放出される反跳陽子の放出方向とエネルギーから、入射中性子のエネルギーを算出する。
- ④ 様々な直径の球形ポリエチレン減速材の中心に中性子検出器をおいたものをボナボールと呼び、いくつかの直径の球を組合せることにより、簡単な中性子スペクトロメータとすることができる。
- ⑤ 検出効率が中性子のエネルギーに依存しない検出器を平坦応答中性子検出器と呼び、最もよく用いられているのがロングカウンタである。

Ⅲ-18 X線又は $\gamma$ 線が物質に入射した場合の相互作用に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。なお、光子のエネルギーは物質の電離エネルギーに比べて十分大きいものとする。

- ① 電子対生成は、光子が突然消滅し、代わりに電子と正の電荷を持った電子（陽電子）とが1個ずつ出現するように見える現象である。
- ② コンプトン効果では、光子と衝突する軌道電子は自由電子と見なすことができる。
- ③ 原子1個当たりのコンプトン効果が起こる確率は、原子内の軌道電子数、すなわち吸収物質の原子番号に比例する。
- ④ 光電効果では、入射光子のエネルギーが吸収物質の軌道電子に完全に吸収され、電子は自由電子としてたたき出される。
- ⑤ 光電効果は、確率は低いものの自由電子に対しても引き起こされる。

Ⅲ－19 非相対論的速度の重荷電粒子の吸収物質中での阻止能に関する次の記述のうち、適切なものはどれか。ただし、重荷電粒子の速度は、吸収物質の原子の軌道電子の速度に比べて十分大きいものとする。

- ① 阻止能は吸収物質の原子番号にほぼ正比例する。
- ② 阻止能は重荷電粒子の速度の2乗にほぼ正比例する。
- ③ 阻止能の単位は  $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$  である。
- ④ 阻止能は重荷電粒子の電荷の2乗にほぼ反比例する。
- ⑤ 阻止能は吸収物質の単位体積中の原子数にほぼ反比例する。

Ⅲ－20 点線源から離れた位置に検出器を置き放射線を測定したところ、4分間で400カウント計数した。また、バックグラウンド計数は8分間で125カウントであった。正味の計数率の標準偏差 [cpm] として、最も近い値はどれか。なお、線源の減衰は無視できるものとする。

- ① 27      ② 23      ③ 6.4      ④ 5.2      ⑤ 4.8

Ⅲ－21 放射性壊変に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ①  $\beta^-$ 壊変では、原子核から電子が放出され、子孫核種の原子番号は1増加するが、質量数は変わらない。
- ②  $\alpha$ 壊変で放出される $\alpha$ 粒子は $^4\text{He}$ の原子核であり、子孫核種の原子番号は2減少し、質量数は4減少する。
- ③ 原子核が高いエネルギー状態から低いエネルギー状態に移る際に光子 ( $\gamma$ 線) が放出される。この光子の代わりに電子が放出される現象を内部転換という。
- ④ 軌道電子捕獲とは、原子核が軌道電子を捕獲することにより起こる壊変過程で、特性X線あるいはオージェ電子が放出されるが、子孫核種の原子番号、質量数は変わらない。
- ⑤ 自発核分裂では、重い原子核が自発的に分裂する現象のことで、分裂に伴い核分裂片と中性子及び $\gamma$ 線が放出される。

Ⅲ－22  $^{235}\text{U}$  (半減期7.0億年) の  $^{238}\text{U}$  (半減期45億年) に対する現在の存在比 ( $^{235}\text{U}$ 存在量/ $^{238}\text{U}$ の存在量) は0.007である。今から45億年前における存在比に最も近い値はどれか。なお、 $2^{\frac{1}{7}}=1.10$ とする。

- ① 0.03      ② 0.06      ③ 0.30      ④ 0.60      ⑤ 1.20

Ⅲ－23 放射線の人体への影響又は防護に関する次の記述のうち、適切なものはどれか。

- ① 放射線防護の最適化の原則は、被ばくする可能性、被ばくする人の数、及びその人たちの個人線量の大きさを、経済的・社会的な要因は考慮せずに、できる限り低く保つことである。
- ② 組織加重係数は、確定的影響（組織反応）による放射線損害に対する個々の臓器・組織の寄与を表すように決められている。
- ③ ヒトの細胞は、放射線により一方の染色体のDNAに2本鎖切断が生じても、修復する機構を有している。
- ④ 確率的影響は、被ばく線量が増加するにつれて、発生頻度が増加するとともに、症状が発生した際の重篤度も高くなる。
- ⑤ 実効線量は、同じ放射線環境下で同一の作業をした場合でも、個人の身長や体重の違いにより、異なった値となる。

Ⅲ－24 2 MVの電圧を発生するファン・デ・グラーフ型加速器で陽子を加速する。ビーム電流 $1.6 \mu\text{A}$ で、1分間、加速した陽子を標的に入射した時に、標的に与えられるエネルギー [J] で最も近い値はどれか。ただし、加速された陽子は、標的内で全エネルギーを失うものとする。また、素電荷は $1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ とする。

- ① 3      ② 10      ③ 19      ④ 100      ⑤ 190

Ⅲ－25 次の放射性核種の組合せのうち、前者を親核種、後者を子孫核種とする親子関係が成立し、かつ放射平衡が成立する組合せとして、適切なものはどれか。ただし括弧内は半減期である。

- ①  ${}^{68}_{32}\text{Ge}$  ( $2.7 \times 10^2$ 日) と  ${}^{68}_{31}\text{Ga}$  (68分)
- ②  ${}^{230}_{90}\text{Th}$  ( $7.5 \times 10^4$ 年) と  ${}^{224}_{88}\text{Ra}$  (3.7日)
- ③  ${}^{140}_{55}\text{Cs}$  (64秒) と  ${}^{140}_{56}\text{Ba}$  (13日)
- ④  ${}^{99}_{42}\text{Mo}$  (66時間) と  ${}^{99}_{43}\text{Tc}$  ( $2.1 \times 10^5$ 年)
- ⑤  ${}^{198}_{79}\text{Au}$  (2.7日) と  ${}^{198}_{81}\text{Tl}$  (5.3時間)

Ⅲ－26 がんの診断又は治療に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① 粒子線治療では、陽子線や炭素線の物質中でのエネルギー付与分布がブラッグ曲線となることを利用し、体深部の病巣に多くのエネルギーを与えてがんを治療する。
- ② PETでは、 $^{18}\text{F}$ などの陽電子放出核種で標識された放射性化合物を体内に投与し、腫瘍細胞に選択的に取り込まれた放射性化合物から体外に放出された $\gamma$ 線を検出して診断する。
- ③  $^{131}\text{I}$ を含むヨウ化ナトリウムを投与し、甲状腺組織に選択的に取り込まれた $^{131}\text{I}$ の壊変に伴い放出される $\beta$ 線、 $\gamma$ 線を利用して、がんの治療や診断を行う。
- ④ BNCTでは、あらかじめホウ素化合物を投与し、腫瘍細胞内に選択的に取り込まれたホウ素と体外から照射した中性子との核反応で発生する陽子及び反跳リチウム原子核によってがんを治療する。
- ⑤ ガンマナイフでは、100個以上の線源からの $\gamma$ 線が体深部の病巣に焦点を結ぶように設計されており、病巣に多くのエネルギーを与えてがんを治療する。

Ⅲ－27 次の(A)～(D)のうち、 $^{90}\text{Sr}$ と $^{137}\text{Cs}$ にともに当てはまる記述の組合せとして、適切なものはどれか。

- (A) ウランの核分裂生成物である。
  - (B) 骨に集まりやすい核種である。
  - (C) アルカリ土類金属である。
  - (D) 半減期は約30年である。
- ① (A) と (B)
  - ② (A) と (C)
  - ③ (A) と (D)
  - ④ (B) と (C)
  - ⑤ (B) と (D)

Ⅲ-28 深さ3 mのプールの底に、200TBq ( $200 \times 10^{12}$ Bq) の $^{60}\text{Co}$ 線源が沈んでいる。

線源直上で水面から上方1 mの位置において、30分間の作業をする場合、予想される被ばく線量 [ $\mu\text{Sv}$ ] に最も近い値はどれか。ただし、建屋壁面などからの散乱 $\gamma$ 線は無視できるものとし、 $^{60}\text{Co}$ の実効線量率定数は $0.31 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $^{60}\text{Co}$  $\gamma$ 線の3 mの水に対する実効線量透過率は $3.6 \times 10^{-7}$ とする。

- ① 0.70    ② 1.2    ③ 1.4    ④ 2.5    ⑤ 2.8

Ⅲ-29 我が国での軽水炉の核燃料サイクルに関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ①  $^{235}\text{U}$ を3～5%程度に濃縮したウランと使用済燃料を再処理して得られるプルトニウムの混合酸化物をMOX燃料として軽水炉に用い、熱中性子によってプルトニウムを燃焼させる方法を、プルサーマルと呼んでいる。
- ② ピューレックス法による再処理工程は、脱被覆、硝酸への燃料溶解、清澄・調整、共除染、ウランとプルトニウムの分配、ウランの精製及びプルトニウムの精製、再処理の結果発生する高レベル放射性廃液のガラス固化やオフガス処理等の工程から構成される。
- ③ 転換は同位体分離による $^{235}\text{U}$ の濃縮を行う前にウラン精鉱を濃縮処理に適した六フッ化ウランに変換する工程であり、再転換は六フッ化ウランを燃料ペレットに使われる二酸化ウランに変換する工程である。
- ④ 再処理によって回収されたウランを回収ウランといい、回収ウランの濃縮においては、天然ウランに含まれていない $^{232}\text{U}$ 、 $^{236}\text{U}$ の存在、 $^{234}\text{U}$ 濃度が天然ウランより大きいことによる同位体組成の変化等の影響を考慮する必要がある。
- ⑤ フロントエンドには、軽水炉に装荷する核燃料の原料となるウラン鉱石の採鉱から燃料集合体を製造するまでの工程が含まれており、バックエンドには、使用済燃料の再処理からガラス固化、地層処分及び回収物質の再利用までの工程が含まれる。



Ⅲ－30 我が国の放射性廃棄物の処理・処分に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① 放射性廃棄物の処分は、将来世代に過度の負担を強いることなく、現在及び将来の人々と環境を潜在的な放射線リスクから防護し、そのリスクが受け入れられるレベルに低減するまでの間、放射性廃棄物を生活環境から隔離することが基本である。
- ② 原子炉の炉内構造物や制御棒の低レベル放射性廃棄物は、トレンチ処分として浅い地中に処分され、高レベル放射性廃棄物は地層処分として地下300メートル以深に処分される。
- ③ 使用済燃料中の核分裂生成物の大部分が含まれる放射能レベルの高い廃液は、ホウケイ酸ガラスとともに高温のガラス溶融炉に供給され、ガラスと放射性物質とを均質な溶融ガラスとした後、ガラス固化体とされる。
- ④ 原子力発電所で発生する低レベル放射性廃棄物のうち、可燃物を焼却した灰や使用済樹脂等をセメント等でドラム缶に固形化したものを均質・均一固化体といい、機器等の金属類をモルタル等で固形化したものを充填固化体という。
- ⑤ クリアランスとは、物質中に含まれる微量の放射性物質に起因する線量が自然界の放射線レベルに比較して十分小さく、人の健康に対するリスクが無視できることから、当該物質を放射性物質として扱う必要のない物として規制の対象から外すことをいう。

Ⅲ－31 核不拡散について説明した次の記述の□に入る語句の組合せとして、適切なものはどれか。

我が国は、国内にあるすべての核物質が核兵器等に転用されていないことを確認するため、国際原子力機関（IAEA）との保障措置協定を受け入れている。これに基づき、国内の核物質が核兵器等に転用されることを適時に探知し、これを抑止するため、以下に示す活動が実施されている。

第一に、□ a □が施設へ出入りする核物質の量をその都度、正確に測定するとともに、施設内の核物質の在庫量を適時把握し、核物質の収支を確認する□ b □である。第二に、核物質が密かに移動されていないことを確認するために、封印や監視カメラを取り付けて核物質の移動を監視するための封じ込め・監視である。第三は、核物質及び原子力活動が保障措置協定の規定に従って使用され、実施されていることを確認するため、不定期に国及びIAEAが実際に原子力施設に立ち入って調査する□ c □である。

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>
①	事業者	収支管理	査察
②	事業者	計量管理	査察
③	事業者	計量管理	監査
④	国	収支管理	監査
⑤	国	計量管理	監査

Ⅲ－32 「令和3年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2022）」における我が国の再生可能エネルギーに関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① 我が国は世界第3位の地熱資源量を有しているにもかかわらず、地下の開発に係る高いリスクやコスト、地元の理解や開発から発電所の稼働に至るまでに10年を超える期間を要するといった課題により、地熱発電導入量は世界第10位にとどまっている。
- ② 未開発の一般水力の平均発電能力（包蔵水力）は7,203kWと小規模であり、開発地点の奥地化も進んでいることから、発電原価が他の電源と比べて割高となり、開発の大きな阻害要因となっている。
- ③ 我が国におけるバイオディーゼル利用においては、欧米等のようにナタネやパーム等の原料栽培から商業的に取り組む形ではなく、使用済みの植物油（廃食用油等）を回収・再利用する形が依然として主流である。
- ④ 2012年に開始した固定価格買取制度の効果により、非住宅分野での太陽光発電の導入は急拡大し、太陽電池の国内出荷量は2014年度に過去最高を記録した後も増加傾向が続いている。
- ⑤ 日本の風力発電導入量は2021年末時点で世界第21位であるが、これは日本は諸外国に比べて平地が少なく地形も複雑なこと、電力会社の系統に余裕がない場合があること等、風力発電の導入が進みにくい事情による。

Ⅲ－33 約70%の設備利用率で運転されている電気出力100万kWの原子力発電所の年間発電電力量は約6,100GWh (約 $2.2 \times 10^{16}$ J)である。この原子力発電所の代替として、設備利用率100%のLNG火力発電所で1年間発電するものとする。このために必要な費用はLNG調達に必要な燃料購入費用とCO<sub>2</sub>クレジット購入費用である。このとき燃料購入費用とCO<sub>2</sub>クレジット購入費用の合計(億円)として、最も近い値はどれか。計算の条件は以下の通りである。

LNG火力発電所の熱効率：50%

輸入LNGの重量単位当たり熱量：54.5MJ/kg

輸入LNG価格：30米ドル/MBtu ※2022年12月時点でのデータ

(注：Btu=British Thermal Unit, 1 Btu=1,060J)

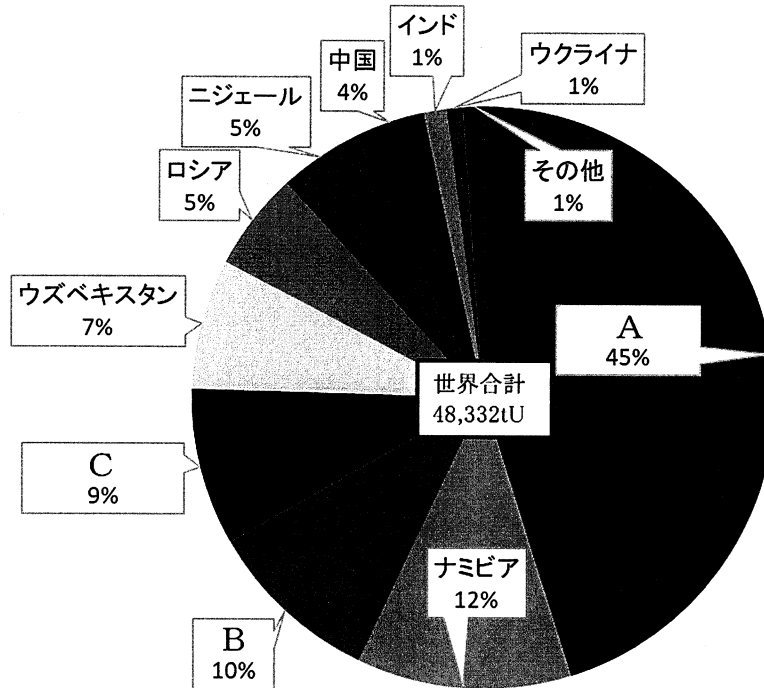
1米ドル=130円

輸入LNG 1トン当たりのCO<sub>2</sub>排出量：2.7tCO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>クレジット購入費用(Jクレジット費用)：2,700円/tCO<sub>2</sub>

- ① 480    ② 880    ③ 1,680    ④ 2,480    ⑤ 3,280

Ⅲ-34 2021年の天然ウラン国別生産量シェアのうち、A、B、Cに当てはまる国名の組合せとして、適切なものはどれか。



天然ウラン国別生産量のシェア (2021年)

- | <u>A</u> | <u>B</u> | <u>C</u> |
|----------|----------|----------|
| ① カザフスタン | カナダ      | オーストラリア  |
| ② カナダ    | カザフスタン   | オーストラリア  |
| ③ カザフスタン | カナダ      | 米国       |
| ④ カザフスタン | オーストラリア  | 南アフリカ    |
| ⑤ カナダ    | オーストラリア  | 米国       |

Ⅲ－35 「GX実現に向けた基本方針～今後10年を見据えたロードマップ～」(令和5年2月)における原子力の取組に関する記述のうち、に入る語句の組合せとして、最も適切なものはどれか。

既存の原子力発電所を可能な限り活用するため、現行制度と同様に、「運転期間は年、延長を認める期間は年」との制限を設けた上で、による厳格な安全審査が行われることを前提に、一定の停止期間に限り、追加的な延長を認めるととする。

あわせて、六ヶ所再処理工場の竣工目標実現などの核燃料サイクル推進、廃炉の着実かつ効率的な実現に向けた知見の共有や資金確保等の仕組みの整備を進めるとともに、最終処分の実現に向けた国主導での国民理解の促進や自治体等への主体的な働き掛けを抜本強化するため、文献調査受入れ自治体等に対する国を挙げての支援体制の構築、実施主体であるの体制強化、国と関係自治体との協議の場の設置、関心地域への国からの段階的な申入れ等の具体化を進める。

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>
①	60	20	原子力委員会	日本原子力研究開発機構
②	40	20	原子力規制委員会	原子力発電環境整備機構
③	40	30	原子力安全推進協会	原子力発電環境整備機構
④	40	30	原子力規制委員会	国際廃炉研究開発機構
⑤	30	40	原子力安全推進協会	原子力発電環境整備機構