

【20】原子力・放射線部門

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 核燃料物質の特性に関する次の記述の、に入る数字及び核燃料物質の組合せとして、最も適切なものはどれか。

下表は、3つの核燃料物質 ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{233}\text{U}$ ) の熱中性子に対する核特性をまとめたものである。

	$^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{233}\text{U}$
核分裂断面積 $\sigma_f$ [barn]	585	747	531
吸収断面積 $\sigma_a$ [barn]	684	1,017	576
捕獲断面積 $\sigma_c$ [barn]	99	270	45
核分裂当たり放出中性子数 $\nu$	2.42	2.90	2.50

表中の3つの核燃料物質のうち、熱中性子増殖炉に最も適したものはどれであろうか。中性子の吸収断面積に対する核分裂断面積の割合が最も大きい核燃料物質について、その値を計算すると  a  となる。この核燃料物質は、熱中性子の吸収毎に最も核分裂しやすいため原子炉として臨界を達成しやすいといえる。中性子吸収当たり放出される中性子数が最も大きい核燃料物質について、その値を計算すると  b  となる。この核燃料物質は最も燃料の増殖性能が優れているといえる。したがって、 c  は両者の特性に優れた核燃料物質であり、熱中性子増殖炉に適している。

- |   | <u>a</u> | <u>b</u> | <u>c</u>          |
|---|----------|----------|-------------------|
| ① | 0.735    | 2.90     | $^{239}\text{Pu}$ |
| ② | 0.735    | 2.50     | $^{233}\text{U}$  |
| ③ | 0.735    | 2.13     | $^{239}\text{Pu}$ |
| ④ | 0.922    | 2.31     | $^{233}\text{U}$  |
| ⑤ | 0.922    | 2.31     | $^{239}\text{Pu}$ |

Ⅲ-2 減速材の特性に関する次の記述の、に入る大小関係の組合せとして、最も適切なものはどれか。

下表は、3つの減速材（軽水、重水、グラファイト）の中性子減速特性を示した表である。なお、 $\xi$  は1回の衝突当たりのエネルギー対数の平均減少量（1回の衝突当たりのレサジー平均増加量）である。定義式を以下に示す。

$$\xi = \ln \left( \frac{E_1}{E_2} \right)$$

$E_1$  : 中性子の衝突前のエネルギー

$E_2$  : 中性子の衝突後のエネルギー

	軽水	重水	グラファイト
$\xi$	0.948	0.570	0.158
減速能 $\xi \Sigma_s$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	1.53	0.17	0.064
減速比 $\xi \Sigma_s / \Sigma_a$	72	12,000	170

表中の3つの減速材を、巨視的散乱断面積 ( $\Sigma_s$ ) が大きい順に並べると  a  となる。一方、巨視的吸収断面積 ( $\Sigma_a$ ) が大きい順に3つの減速材を並べると  b  となる。また、1回の散乱で中性子が失うエネルギーを大きい順に並べると  c  となる。このように、中性子散乱、中性子吸収、中性子減速の起こりやすさがそれぞれの減速材で異なっている。

a

b

c

- ① 軽水 > 重水 > グラファイト    重水 > グラファイト > 軽水    グラファイト > 重水 > 軽水
- ② 軽水 > グラファイト > 重水    軽水 > グラファイト > 重水    グラファイト > 重水 > 軽水
- ③ 軽水 > 重水 > グラファイト    軽水 > グラファイト > 重水    軽水 > 重水 > グラファイト
- ④ 軽水 > グラファイト > 重水    重水 > グラファイト > 軽水    軽水 > 重水 > グラファイト
- ⑤ 軽水 > グラファイト > 重水    軽水 > グラファイト > 重水    軽水 > 重水 > グラファイト

Ⅲ－３ 使用済燃料プール中の使用済燃料の残留熱（崩壊熱）を除去する。プールの水を熱交換器に送り、この熱を全て対向流型の熱交換器を用いて二次側の水で冷却する。系統は定常状態にあるとする。熱交換器の一次側（プール側）の入口温度を $50^{\circ}\text{C}$ 、出口温度を $30^{\circ}\text{C}$ とする。また、二次側の水の入口温度を $20^{\circ}\text{C}$ 、出口温度を $30^{\circ}\text{C}$ とする。このときの熱交換器の除熱量として次のうち、最も近い値はどれか。

ただし、熱交換器の熱通過率を $1\text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ 、伝熱面積を $30\text{m}^2$ とする。また、水の比熱と熱通過率は温度によらず一定とし、 $\ln 2=0.69$ とする。

- ① 300 kW    ② 360 kW    ③ 420 kW    ④ 480 kW    ⑤ 540 kW

Ⅲ－４ 加圧水型原子炉（PWR）と沸騰水型原子炉（BWR）の運転・制御に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① PWRでは、燃料の燃焼に伴う原子炉出力の低下を、主に冷却水中のホウ素濃度を調整することにより補償している。
- ② BWRでは、燃料の燃焼に伴う原子炉出力の低下を、主に可燃性毒物（バーナブルポイズン）で補償している。
- ③ BWRでは、ウォーターロッドが導入されている燃料集合体がある。これは、チャンネルボックス内部の沸騰状態にある領域の冷却効果を高めるためである。
- ④ 原子炉を長期間運転したのちに停止すると、キセノン135の蓄積による負の反応度の絶対値は減少したのち増加するため、これが再起動条件の制約となっている。
- ⑤ PWRでは、炉心上部から制御棒を挿入しているため、出力分布を平坦化するために炉心上部に濃縮度の高い燃料ペレットを使っている。

Ⅲ－５ 軽水炉の安全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 ドップラー反応度効果は、 $\text{UO}_2$ 燃料の温度の上昇に伴い $^{238}\text{U}$ の共鳴吸収の確率が増加して、熱エネルギー領域まで減速する中性子が減る効果である。
- ② ドップラー反応度効果は、 $\text{UO}_2$ 燃料の場合は顕著で、温度上昇に対して瞬時に働く。
- ③ ボイド反応度効果は、温度が上昇して軽水の吸収効果が強くなり、熱中性子が減る効果である。
- ④ 沸騰水型軽水炉では、過渡事象によって原子炉内の圧力が増すと反応度が増大し、出力が増加する。
- ⑤ 加圧水型軽水炉では、冷却材は、温度が上がると密度が下がるため、減速材温度反応度係数が負である。

Ⅲ-6 軽水炉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。

発電用原子炉の開発当初（1950年代）は、様々な炉型が開発された。その中でも、現在の主流となる原子炉は軽水炉である。軽水炉では、軽水が冷却材と a を兼ねている。中性子が発生してから熱中性子になって吸収されるまでの距離は b 程度であり、小さな容積の圧力容器により高圧システムとすることが可能となる。沸騰水型軽水炉は、炉心で軽水を沸騰させて発電するための蒸気を得るため、その開発当初には気泡が発生すると核反応の制御が困難になると考えられていた。しかし、BORAXというシリーズの工学実験が行われ、 c が確認された。こうして蒸気発生器が不要で効率的な熱利用ができるのでコンパクトな設計の発電用沸騰水型軽水炉が開発された。

- |   | <u>a</u> | <u>b</u> | <u>c</u> |
|---|----------|----------|----------|
| ① | 減速材      | 数cm      | 炉の安定性    |
| ② | 吸収材      | 数cm      | 沸騰遷移     |
| ③ | 反射材      | 数10cm    | 沸騰遷移     |
| ④ | 減速材      | 数10cm    | 炉の安定性    |
| ⑤ | 吸収材      | 数cm      | 炉の安定性    |

Ⅲ-7 一辺の長さ  $a$  の立方体容器にウラン溶液を満たした場合にちょうど臨界であった。このウラン溶液を半径  $R$  の球形容器に移すことにする。球形容器をウラン溶液で満たしても臨界を超過しないようにして、できるだけ多くのウラン溶液を移したい。そのために球形容器の容積は立方体容器の容積の何倍以下であればよいか、最も近い値はどれか。

なお、立方体容器と球形容器のバックリングはそれぞれ、 $3\left(\frac{\pi}{a}\right)^2$  と  $\left(\frac{\pi}{R}\right)^2$  である。また、外挿距離は、半径  $R$  及び立方体の一辺  $a$  に比べて小さく無視できるものとする。

- ① 1.1 倍    ② 1.0 倍    ③ 0.9 倍    ④ 0.8 倍    ⑤ 0.7 倍

Ⅲ－８ 原子炉への燃料装荷から燃料取出しまで，1 kgの濃縮ウラン燃料から発生するエネルギーを $E_U$ とする。また，1 kgの石炭の燃焼により発生するエネルギーを $E_C$ とする。 $E_U/E_C$ に最も近い値はどれか。ただし，濃縮ウラン燃料の形態を二酸化ウラン ( $UO_2$ )，燃料取出しまでに核分裂するウランの量の平均割合を4%，ウランの核分裂によって発生するエネルギーを200MeV，石炭の発熱量を $25.7MJ \cdot kg^{-1}$ とする。また，二酸化ウランのモル質量を $270g \cdot mol^{-1}$ ，アボガドロ定数を $6.02 \times 10^{23} mol^{-1}$ ， $1eV = 1.60 \times 10^{-19} J$ とする。

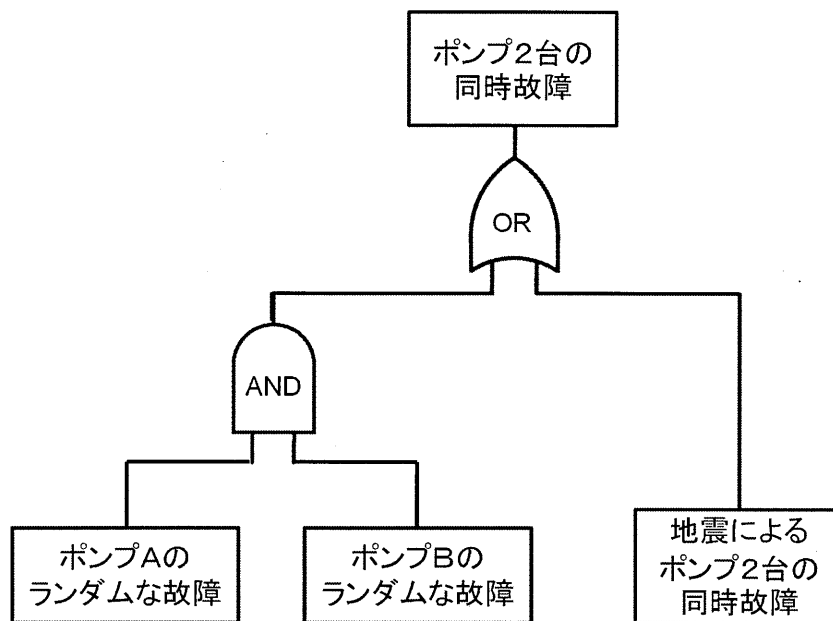
- ①  $1 \times 10^3$     ②  $1 \times 10^4$     ③  $1 \times 10^5$     ④  $1 \times 10^6$     ⑤  $1 \times 10^7$

Ⅲ－９ 次の記述の，に入る用語の組合せとして最も適切なものはどれか。

原子力発電所の配管における流れ加速型腐食 (FAC) による減肉は， a が用いられている配管系統で経験されている。BWRでは原子炉から蒸気が直接タービン設備に送られ，再び復水となって原子炉に送られるため，給復水系の溶存 b は10ppb以下と非常に低い。一般に，純水中の溶存 b は低いほど腐食速度は低くなるが，20ppbより低下すると腐食速度が著しく上昇することが知られており，1974年頃より復水系への20～60ppbの b 注入による防食管理が行われるようになってきている。材料因子については， c ，モリブデン，銅などはFACを抑制する。特に c はFACに対し大きく影響する。PWRについては，火力発電所と同様に薬剤の注入による防食管理が行われてきた。しかし，1986年に米国のサリー発電所において給水配管の d による大規模な配管破断と人身災害が発生したために，1990年にそれまでの火力発電所の知見も踏まえたPWR配管減肉管理指針がまとめられた。

	a	b	c	d
①	炭素鋼	酸素	クロム	全周減肉
②	ステンレス鋼	酸素	ニッケル	全周減肉
③	炭素鋼	水素	クロム	局所減肉
④	炭素鋼	水素	ニッケル	全周減肉
⑤	ステンレス鋼	水素	ニッケル	局所減肉

Ⅲ-10 同一の機械式ポンプ2台が並列に配置されているシステムがある。この機械式ポンプは、ランダムな故障、又は、地震により故障するものとする。1台のポンプのランダム故障確率は $5.5 \times 10^{-3}$ 年<sup>-1</sup>である。また、地震による故障は、地震の規模に依存して起こるものとする。地震の規模をI、II、IIIと3つに区分するとき、各区分の地震の発生頻度 [年<sup>-1</sup>] と、その地震が起きたときの条件付故障確率を表に示す。共通要因による故障モードについては、ランダムな故障では無視することができ、一方、地震による故障の場合には必ず同時に故障するものとする。この機械式ポンプが2台同時に故障する1年当たりの確率 [年<sup>-1</sup>] として、最も近い値はどれか。



	地震の区分		
	I	II	III
発生頻度 [年 <sup>-1</sup> ]	$5.0 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-7}$
条件付故障確率	0.13	0.58	0.91

- ①  $3.0 \times 10^{-5}$
- ②  $4.0 \times 10^{-5}$
- ③  $5.0 \times 10^{-5}$
- ④  $6.0 \times 10^{-5}$
- ⑤  $7.0 \times 10^{-5}$

Ⅲ－11 軽水炉のシビアアクシデント時の放射性物質の挙動に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 原子炉冷却系と比べて低温である格納容器雰囲気では、浮遊するガス状の放射性物質（希ガスを除く）及びエアロゾルは構造物表面及び床面への沈着が加速される。
- ② ヨウ化セシウムは水溶性であり、水中に移行するとヨウ化物イオンとして存在するが、単体ヨウ素は揮発性であり、気液分配により気相中に放出される。
- ③ 放射性物質の移行経路の途上に冷却水がある場合、プールスクラビング効果によって雰囲気中のエアロゾル状の放射性物質の一部が除去される。
- ④ PWRの蒸気発生器伝熱管破損時には、炉心部から放出された放射性物質は格納容器をバイパスして原子炉冷却系から直接、環境中へ放出される。
- ⑤ 希ガスの放射性物質の分圧が壁面及びエアロゾルの表面温度での飽和蒸気圧より低くなると、その放射性物質は壁面及びエアロゾル表面に凝縮する。

Ⅲ－12 使用済燃料の中間貯蔵の方式とそれらの特徴に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 使用済燃料を金属製容器（金属キャスク）に入れて貯蔵する方式を、金属キャスク貯蔵という。金属ガスケットを装着して蓋をボルト締めする。したがって、放射性物質は金属キャスク内に密閉され、貯蔵中の密封機能の監視は不要である。
- ② 使用済燃料をキャニスタと呼ばれる薄肉円筒容器に入れ、そのキャニスタをコンクリート製の容器に入れて貯蔵する方式をコンクリートキャスク貯蔵という。密封機能は溶接構造を採用し、貯蔵中の密封機能の監視は不要である。
- ③ 使用済燃料をキャニスタに収納・密封し、広い地下空間に置かれたピット内に貯蔵する方式をボルト貯蔵という。ボルトとは地下貯蔵室を意味する。使用済燃料からの発熱は、通常、空気の自然対流により除熱される。
- ④ 使用済燃料をキャニスタに収納・密封した上で、コンクリート製サイロに収納し、放射線を遮へいする方式をサイロ貯蔵という。キャニスタを輸送キャスクから保管庫に水平姿勢で挿入でき、輸送キャスクを高く吊り上げる必要がない。
- ⑤ 使用済燃料を冷却プール内の水中に設置された金属製の枠組（ラック）に収納する方式を水プール貯蔵という。使用済燃料からの発熱は冷却プールの水により除去される。除熱性能に優れるので、原子炉から取出し直後の発熱量の高い使用済燃料貯蔵に適する。

Ⅲ-13 加速器駆動炉などのマイナーアクチニド (MA) 核変換炉における多重サイクルで廃棄物に移行するMAの総量を考える。第1サイクルで装荷されるMA量を1とする。1回の燃焼サイクルにおける核変換効率を $\alpha$ とすると、核変換炉から取出されるMAは $(1-\alpha)$ となる。使用済燃料を再処理するとき、廃棄物に移行する割合を $\beta$ とすると、第1サイクルでは、 $(1-\alpha)\beta$ のMAが廃棄物に移行する。このサイクルを繰り返したときの各サイクルにおけるMA量を下表に示す。このように燃焼サイクルを繰り返していくとき、廃棄物に移行するMAの総量を、初回に装荷したMA量の1%以下とするために必要とされる $\beta$ の値として、最も近い値はどれか。なお、 $\alpha$ は0.1とする。

サイクル数	核変換炉に装荷されるMA	核変換炉から取出されるMA	廃棄物に移行するMA
1	1	$(1-\alpha)$	$(1-\alpha)\beta$
2	$(1-\alpha)(1-\beta)$	$(1-\alpha)^2(1-\beta)$	$(1-\alpha)^2(1-\beta)\beta$
3	$(1-\alpha)^2(1-\beta)^2$	$(1-\alpha)^3(1-\beta)^2$	$(1-\alpha)^3(1-\beta)^2\beta$
:	:	:	:
n	$(1-\alpha)^{n-1}(1-\beta)^{n-1}$	$(1-\alpha)^n(1-\beta)^{n-1}$	$(1-\alpha)^n(1-\beta)^{n-1}\beta$

- ①  $0.5 \times 10^{-3}$
- ②  $1.0 \times 10^{-3}$
- ③  $1.5 \times 10^{-3}$
- ④  $2.0 \times 10^{-3}$
- ⑤  $2.5 \times 10^{-3}$



Ⅲ－14 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、最も不適切なものはどれか。

- ① 処分とは、放射性廃棄物管理の最終的措置として、放射性廃棄物を人間の生活環境に影響の及ぶおそれのないようにすることである。
- ② 原子力発電所で発生する放射性固体廃棄物の発生量を抑制するために、可燃物は燃焼処理、不燃物については圧縮や溶融など性状に合わせた減容処理を行っている。
- ③ TRU廃棄物は浅地中処分で行うこととされており、これは、地表付近（深さ数十mまで）で行われる処分である。
- ④ 再処理後に残る放射能レベルの高い廃液はガラス原料と混ぜ合わせて高温で溶かされ、これをステンレス鋼製容器に入れて固めたガラス固化体が高レベル放射性廃棄物である。
- ⑤ 多重バリアシステムは、工学的技術により設けられる人工バリアと、天然の地層である天然バリアの多層の防護系から構成される。

Ⅲ－15  $^{238}\text{U}$ の核子当たりの平均結合エネルギー [MeV] に最も近い値はどれか。ただし、ウランの原子番号は92、原子質量単位で表した、 $^{238}\text{U}$ 原子、水素原子、中性子の質量はそれぞれ、238.050784 u、1.007825 u、1.008665 uであり、1u=931.5MeVとする。

- ① 7.0    ② 7.2    ③ 7.4    ④ 7.6    ⑤ 7.8

Ⅲ－16 放射性壊変に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ①  $\alpha$ 壊変で放出される $\alpha$ 粒子は $^4\text{He}$ の原子核であり、娘核種の原子番号は2減少し、質量数は4減少する。
- ②  $\beta^-$ 壊変では、原子核から電子が放出され、娘核種の原子番号は1増加するが、質量数は変わらない。
- ③ 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、その際、特性X線あるいはオージェ電子が放出されるが、娘核種の原子番号、質量数は変わらない。
- ④  $\gamma$ 遷移では、原子核が高励起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。
- 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、分裂に伴い中性子が放出される。

Ⅲ-17 放射平衡に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① 過渡平衡が成立すると、親核種、娘核種とも娘核種の半減期で減衰する。
- ② 永続平衡が成立すると、親核種と娘核種の原子数の比は一定となる。
- ③ 放射平衡が成立するには、親核種の半減期は娘核種の半減期に比べて短くなければならない。
- ④ 天然に存在する放射壊変系列では、永続平衡は成立しない。
- ⑤ 放射平衡が成立すると、娘核種の放射能は親核種の放射能を超えることはない。

Ⅲ-18 放射線照射により生じる化学変化に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① 放射線照射によって起こる物質の化学変化の量は、放射線の線エネルギー付与(LET)に依存しない。
- ② 鉄線量計は、放射線照射による $\text{Fe}^{2+}$ から $\text{Fe}^{3+}$ への酸化反応を利用して線量を測定するものである。
- ③ アラニン線量計は、放射線照射によって生じたフリーラジカル数を核磁気共鳴(NMR)で測定するものである。
- ④ 放射線照射によって生じたフリーラジカルの反応性を高めるために加える物質を、ラジカルスカベンジャーという。
- ⑤ 放射線照射により生じる1 eVのエネルギー吸収に対して変化した分子又は原子の数をG値と定義する。

Ⅲ-19 厚さ4.5cmの鉛で遮へいされた100MBqの $^{60}\text{Co}$ 線源から0.5mの位置で30分作業した場合の実効線量 [ $\mu\text{Sv}$ ] に最も近い値はどれか。ただし、 $^{60}\text{Co}$ からの $\gamma$ 線の鉛の半価層は1.5cm、 $^{60}\text{Co}$ の実効線量率定数は $0.305 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ とする。

- ① 0.48    ② 0.96    ③ 1.9    ④ 3.8    ⑤ 7.6

Ⅲ-20 放射線の線量に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① 実効線量は、各臓器・組織の等価線量と組織加重係数の積の合計値である。
- ② 線量当量は、組織の吸収線量と放射線加重係数の積で表される。
- ③ 等価線量は、臓器・組織の吸収線量と線質係数の積で表される。
- ④ カーマは、荷電粒子に対してのみ使用することができる。
- ⑤ 照射線量は、 $\gamma$ 線に対しては使用することができない。

Ⅲ-21 サイクロトロンを用いて半減期20分の放射性核種を製造するとき、標的を荷電粒子で20分間照射したときの生成放射能を $A_1$ とし、また2倍の照射電流で40分間照射したときの生成放射能を $A_2$ とすると、その生成放射能比 ( $A_2/A_1$ ) に最も近い値はどれか。

- ① 2.5    ② 3.0    ③ 3.5    ④ 4.0    ⑤ 4.5

Ⅲ-22  $^{12}\text{C}(n, 2n)^{11}\text{C}$ は、しきいエネルギーを有する吸熱反応である。このしきいエネルギーを表す式として、最も適切なものはどれか。ただし、中性子の質量を $M_n$ 、 $^{12}\text{C}$ の質量を $M_{12}$ 、 $^{11}\text{C}$ の質量を $M_{11}$ 、反応のQ値を $Q$ とする。

①  $|Q| \times \frac{M_n + M_{11}}{M_{11}}$

②  $|Q| \times \frac{M_n + M_{12}}{M_{12}}$

③  $|Q|$

④  $|Q| \times \frac{M_{11}}{M_n + M_{11}}$

⑤  $|Q| \times \frac{M_{12}}{M_n + M_{12}}$

Ⅲ-23 ある試料から放出される放射線を、GM計数管を用いて10分間測定した。このとき計数値は10,000カウントであり、計数率は1,000cpmであった。バックグラウンドは無視できるものとする。計数率の標準偏差 [cpm] に最も近い値はどれか。

- ① 2    ② 4    ③ 10    ④ 32    ⑤ 100

Ⅲ-24 人への放射線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 被ばく線量と影響の発生頻度の関係から、確率的影響と確定的影響に分類される。  
 ② しきい線量とは、確定的影響が現れる最小の線量である。  
 ③ 確定的影響では、被ばく線量が大きくなると重篤度が増す。  
 ④ 確率的影響には、がんと遺伝的影響が含まれる。  
 ⑤ 妊娠中に被ばくした胎児に現れる影響は遺伝的影響である。

Ⅲ-25 X線あるいは $\gamma$ 線と物質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 光電効果では、入射X線のエネルギーを吸収して原子内の軌道電子が放出される。
- ② 光電効果では、入射X線のエネルギーが十分高い場合には外殻電子より内殻電子の方が光電子として放出されやすい。
- ③ コンプトン効果により散乱されたX線の波長は、散乱前の波長より長くなる。
- ④ コンプトン効果により散乱されたX線が、さらにコンプトン効果を起こすことがある。
- ⑤ 電子対生成は、 $\gamma$ 線のエネルギーが1.02MeVより小さい場合にも起こることがある。

Ⅲ-26 医療の分野で放射線や放射性同位元素は病気の診断、治療に欠かすことができないものとなっている。次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ①  $^{192}\text{Ir}$ などの放射性同位元素を針状等の形状の小線源に加工して、患部へ挿入し、腫瘍などを治療している。
- ② 患者のがん組織にホウ素化合物を取り込ませ、熱中性子を患部に照射すると、 $^{10}\text{B}$ との核反応で発生する粒子放射線 ( $\alpha$ 線と $^7\text{Li}$ 粒子) によって、選択的にがん細胞を殺すことができる。
- ③ 重粒子線はシャープなブラッグピークと高い生物効果を兼ね備え、さらに、がん細胞の周りに酸素があるかないかによる影響を受けにくいという利点があることから、重粒子線照射はがん治療に利用されている。
- ④  $\beta$ 線を放出する核種を患者に投与して、その $\beta$ 線を体外において測定すると、投与した核種の集積具合の断層像を得ることができる。この測定には $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識化合物や $^{201}\text{Tl}$ 標識化合物などが利用されている。
- ⑤  $\beta^+$ 壊変する核種で標識した化合物を投与し、その核種が $\beta^+$ 壊変後、陽電子消滅する際に、180度方向に同時に放出される消滅光子を測定対象物の周りに配置した検出器で同時計数すると、核種の位置を調べることができる。

Ⅲ-27 中性子検出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  $^3\text{He}$ 比例計数管は、 $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$ 反応を利用して中性子を検出している。
- ② 水素比例計数管は、高速中性子の弾性散乱により生じる反跳陽子を利用して中性子を検出している。
- ③ 核分裂計数管は、 $^{235}\text{U}$ などの核分裂物質の中性子吸収に伴い起きる核分裂を利用して中性子を検出している。
- ④ 中性子放射化検出法の1つである金箔放射化法は、 $^{197}\text{Au}$ が中性子を吸収する際に放出される即発 $\gamma$ 線を計測することにより中性子を検出している。
- ⑤  $\text{LiI}(\text{Eu})$ シンチレータは、 $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$ 反応を利用して中性子を検出している。

Ⅲ-28 放射線のエネルギー測定に関する次の記述のうち、放射線の種類と検出器の組合せとして、最も適切なものはどれか。

- ①  $^{241}\text{Am}$ の $\alpha$ 線のエネルギーをSi表面障壁型半導体検出器で測定する。
- ②  $^{241}\text{Am}$ の $\alpha$ 線のエネルギーをGM計数管で測定する。
- ③  $^{241}\text{Am}$ の $\alpha$ 線のエネルギーを $\text{NaI}(\text{Tl})$ シンチレータで測定する。
- ④  $^{137}\text{Cs}$ の $\gamma$ 線のエネルギーを $\text{ZnS}(\text{Ag})$ シンチレータで測定する。
- ⑤  $^{137}\text{Cs}$ の $\gamma$ 線のエネルギーを有機液体シンチレータで測定する。

Ⅲ-29 2015年12月パリにて気候変動対策に関する新しい条約「パリ協定」が合意され、翌年11月に発効した。この「パリ協定」に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① パリ協定は、京都議定書同様、気候変動枠組条約の下で策定された。
- ② パリ協定には、産業革命前からの地球の平均気温上昇を $2^\circ\text{C}$ より十分下方に抑えること等が、協定の目的として記述されている。
- ③ パリ協定は、京都議定書同様、先進国だけに温室効果ガスの削減義務を課している。
- ④ パリ協定は、温室効果ガスの人為的な排出と吸収のバランスを今世紀後半に達成することを目指している。
- ⑤ パリ協定を受けて、日本国政府は長期的目標として2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指すとの閣議決定を行った。

Ⅲ-30 国際的な一次エネルギー動向に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 石油は、回収率の向上、追加的な資源の発見や確認及びシェールオイルの採掘技術の進歩により、可採年数（可採埋蔵量／年産量）は増加傾向にある。
- ② 石炭の可採埋蔵量は約8,900億トンであり、その分布は石油、天然ガスに比べ地域的な偏りが少なく、世界に広く賦存している。その可採年数は約110年であり石油よりも長い。
- ③ 天然ガスは、埋蔵量の地域的な偏りが小さい。近年は、シェールガスといった非在来型天然ガスの開発が進展している。シェールガスは在来型天然ガスの確認埋蔵量よりも多いと、米国政府により推計されている。
- ④ ウランは、カナダ、オーストラリア、カザフスタン等が生産量、埋蔵量ともに上位を占めている。ウラン価格は2000年代後半から世界的なウラン獲得競争により高騰し、現在もその水準にある。
- ⑤ 太陽光発電の導入量は2000年代後半から増加が加速し、2014年の世界の累積導入量は約1.8億kWに達した。日本の累積導入量は、2014年にイタリアを抜き世界第3位となった。

Ⅲ-31 約70%の稼働率で運転されている100万kWの原子力発電所の年間発電電力量は、約6,100GWh（約 $5.2 \times 10^{15}$  cal）である。この原子力発電所の代替として、稼働率100%のLNG火力発電所を1年間動かすとする。このためには、LNG調達に必要な燃料購入費用とCO<sub>2</sub>排出量オフセットするCO<sub>2</sub>クレジット購入費用が必要となる。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。ただし、LNG火力発電所の熱効率は50%、LNGの発熱量は $1.3 \times 10^{10}$  cal/ton、LNGのCO<sub>2</sub>排出係数は $2.0 \times 10^{-4}$  g-CO<sub>2</sub>/cal、LNGの価格は50,000円/ton、CO<sub>2</sub>クレジット価格は500円/ton-CO<sub>2</sub>とする。

- ① 200    ② 300    ③ 400    ④ 500    ⑤ 600

Ⅲ－32 有効落差100mを持つ水力発電所が50か所ある。50か所合わせて、110万kWの原子力発電所と同じ出力を持つとき、水力発電所の1か所当たりの平均流量 [万ton・h<sup>-1</sup>] に最も近い値はどれか。ただし、水車の効率と発電機の効率をそれぞれ90%とする。

- ① 10    ② 25    ③ 50    ④ 75    ⑤ 100

Ⅲ－33 原子力利用の基本的な考え方は「原子力基本法」の第一条及び第二条に示されている。これらの条文について、に入る語句の組合せとして、最も適切なものはどれか。

(目的)

第一条 この法律は、原子力の研究、開発及び利用を推進することによって、将来におけるエネルギー資源を確保し、 a の進歩と産業の振興とを図り、もって人類社会の b と国民生活の水準向上とに寄与することを目的とする。

(基本方針)

第二条 原子力利用は、平和の目的に限り、安全の確保を旨として、 c な運営の下に、 d にこれを行うものとし、その成果を公開し、進んで国際協力に資するものとする。

2 前項の安全の確保については、確立された国際的な基準を踏まえ、国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の e に資することを目的として、行うものとする。

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>	<u>e</u>
①	学術	発展	自主的	民主的	安全保障
②	学術	福祉	民主的	自主的	安全保障
③	学術	福祉	民主的	自主的	エネルギーの確保
④	科学技術	福祉	自主的	民主的	エネルギーの確保
⑤	科学技術	発展	民主的	自主的	安全保障

Ⅲ－34 平成27年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2016）における，各国の原子力発電の現状に関する次の記述の，に該当する国の組合せとして，最も適切なものはどれか。

a では，16基の原子力発電所が運転中で，発電電力量の約19%を賄っている。設備利用率は72%である。2007年にエネルギー白書を提出し，原子力発電所の新規建設に向けた政策面での支援方針を明らかにした。

b では，10基の原子力発電所が運転中で，発電電力量の約42%を賄っている。設備利用率は75%である。1980年の国民投票結果を踏まえ，原子力発電を段階的に廃止する法律が制定されたが，2010年に既設原子炉のリプレイスは可能と修正された。

c では，22基の原子力発電所が運転中で，発電電力量の約2%を賄っている。設備利用率は74%である。原子力発電拡大の方針を掲げており，2020年の設備容量を58GWとする計画を2013年に策定した。

d では，9基の原子力発電所が運転中で，2011年度時点で発電電力量の約18%を賄っている。設備利用率は87%である。2011年8月に原子力発電を段階的に廃止する法案が施行された。

（原子力発電所の基数は2015年1月1日時点，発電電力量と設備利用率は2014年時点（年ベース））

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>
①	英国	ドイツ	中国	スウェーデン
②	中国	スウェーデン	英国	ドイツ
③	中国	ドイツ	英国	スウェーデン
④	英国	スウェーデン	中国	ドイツ
⑤	中国	英国	スウェーデン	ドイツ



Ⅲ－35 原子力施設における核物質の管理等に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 核セキュリティとは、「核物質、その他の放射性物質又はそれらに関連した施設に関する盗取、妨害破壊行為、無許可の出入り、不法な譲渡又はその他の不法な行為の防止、検知及び対応」をいう。
- ② 個人の信頼性確認制度とは、「原子力施設における内部脅威者を想定して重要区域の常時立入者や特定核燃料物質を業務上取り扱う者」を対象としている。
- ③ 核物質防護とは、「核物質の盗取等による不法な核物質の移転を防止するとともに、原子力施設及び輸送中の核物質に対する妨害破壊行為を未然に防ぐことを目的とした措置」をいう。
- ④ 保障措置とは、「原子力の平和利用を確保するため、核物質が核兵器その他の核爆発装置に転用されていないことを検認すること」をいう。
- ⑤ 計量管理とは、「国際原子力機関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ことで、施設内の核物質の在庫量を適時に把握し、核物質の収支を確認すること」をいう。