

【20】原子力・放射線部門

10時30分～12時30分

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 ステンレス鋼（重量比で，Ni 8%，Cr 18%，Fe 74%）のマクロ吸収断面積 $[\text{cm}^{-1}]$ に最も近い値はどれか。ただし，Ni，Cr，Feのミクロ吸収断面積はそれぞれ，4.46，3.03，2.56barn ($1\text{barn}=1\times 10^{-24}\text{cm}^2$)，Ni，Cr，Feの原子量はそれぞれ，58.7，52.0，55.8，ステンレス鋼の密度は $7.93\text{g}/\text{cm}^3$ とし，アボガドロ数を 6.02×10^{23} とする。

- ① 0.14 ② 0.19 ③ 0.24 ④ 0.29 ⑤ 0.34

Ⅲ－2 原子炉における核分裂生成物に関する次の記述のうち，最も不適切なものはどれか。

- ① 原子炉の動特性にとって重要な働きをする，連続スペクトルのエネルギーを持った遅発中性子を発生させる。
- ② 核分裂生成物は放射能が高く，原子炉の安全を確保するためにはその放散を防止しなければならない。
- ③ 核分裂生成物は崩壊熱の源となり，出力の大きい原子炉においてはいかなる場合にも崩壊熱を確実に除去しなければならない。
- ④ 核分裂生成物の中には，その蓄積が高出力原子炉の再起動などにおいて問題となるものがある。
- ⑤ 気体状の核分裂生成物は，燃料被覆管の内圧上昇などを引き起こす。

Ⅲ－３ ４因子公式を均質炉から非均質炉に適用した場合に、この４因子がどう変化するかを定性的に考察した次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 高速核分裂係数 k はやや増加する。核分裂により燃料中で発生する高速中性子が減速されずに核分裂を引き起こす確率が増加するからである。
- ② 共鳴を逃れる確率 p は大幅に増加する。共鳴エネルギーになった中性子が燃料表面で強く吸収され、燃料内部では共鳴エネルギー領域の中性子が増加することが１つの要因である。
- ③ 共鳴を逃れる確率 p は大幅に増加する。減速材中での散乱で中性子が燃料と衝突せずに共鳴エネルギー以下になる割合が増加することが１つの要因である。
- ④ 熱中性子利用率 f は減少する。核燃料の熱中性子吸収断面積が大きいので、燃料中の熱中性子束が低下するからである。
- ⑤ １個の中性子が燃料に吸収されたときに核分裂で発生する中性子数 η は、非均質化によってもほとんど変化しない。

Ⅲ－４ 原子炉燃料に用いられるウランに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 天然ウランに含まれる ^{235}U の重量パーセントは約 0.7% である。
- ② ^{235}U の半減期は、 ^{238}U の半減期より長く、約 45 億年である。
- ③ 六フッ化ウランは約 56℃ で気体になるため、ウラン濃縮工程で用いられる。
- ④ 二酸化ウランの結晶構造は、螢石型の面心立方格子である。
- ⑤ 金属ウランの融点は約 1,130℃ であり、二酸化ウランの融点は約 2,800℃ である。

Ⅲ－５ 超ウラン元素に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。なお、超ウラン元素のうち、プルトニウムを除く核種をマイナーアクチニド核種という。

- ① 混合酸化物燃料に含まれる ^{241}Pu は核分裂性の物質で半減期が14年である。この β^- 壊変によって、核分裂性でない ^{241}Am が生成される。このため、混合酸化物燃料は時間とともに劣化が進む。
- ② 使用済燃料中の超ウラン元素には ^{237}Np 、 ^{243}Am などの長寿命の核種が多く、高レベル放射性廃棄物の地層処分時の長期安全性に影響を及ぼす。
- ③ マイナーアクチニド核種はそれ自身が発熱体であるため、再処理で回収すれば高レベル放射性廃棄物の発生量の削減や発熱量の低下などにつながり、地層処分の負担が軽減される。
- ④ ^{241}Am からはCm同位体が生成するが、 ^{242}Cm や ^{244}Cm は β^- 壊変による高い発熱源となる。
- ⑤ 再処理で回収されるプルトニウムの同位体組成は、燃料燃焼度が増加するにつれて高次同位体の割合が増加し核分裂性プルトニウムの割合が低下する。

Ⅲ－６ 軽水炉のシビアアクシデント時に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 溶融した燃料や構造材料（「コリウム」と呼ぶ）が、原子炉圧力容器の中にとどまっている間は、格納容器の機能によって周辺への放射性物質の放出はまだ比較的小規模である。
- ② 原子炉圧力容器まで破壊されると、コリウムが格納容器内に出てくる。格納容器が健全であれば、環境への放射性物質の放出はまだ限られたものである。
- ③ 周辺公衆に最も深刻な影響を与える事故シーケンスは、核分裂生成物に対して多重に設けられている障壁が、短時間内にすべて機能喪失する場合がほとんどであると考えられる。
- ④ 原子炉格納容器バウンダリを構成する機器である原子炉格納容器本体、ハッチ類、貫通部、隔離弁等はその内圧が設計圧力（最高使用圧力）を超えると放射性物質の閉じ込め機能を喪失する。
- ⑤ 格納容器の破壊の要因としてまず挙げられるのは、格納容器内部の圧力・温度の極めて急激な、爆発的上昇である。この原因の主なものは、水蒸気爆発や水素爆発である。

Ⅲ－７ 材料の照射損傷を考えるに際し、はじき出し損傷関数 $\nu(E_p)$ のモデルの１つである「キンチン・ピース模型」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。ただし、PKA（１次はじき出し原子）とは、入射粒子と直接衝突したターゲット原子のことであり、入射粒子からはじき出しエネルギー E_d 以上のエネルギーを受取ると、もといいた位置からはじき出される。また、 $\nu(E_p)$ は、運動エネルギー E_p を与えられた１個のPKAから最終的にはじき出された原子の数とする。

衝突される対象は単体の固体とし、衝突は二体間衝突と考え、衝突間の相関は無視する。はじき出しエネルギーは階段関数的なはじき出し確率を考え、衝突は弾性的であるとする。すなわちPKAの運動エネルギーを E_p とし、衝突によりエネルギー T をターゲット原子に渡し、自らはエネルギーを E_p' に減じたとすると、

$$E_p = E_p' + T$$

ここで、はじき出しエネルギー E_d を使うと、

(ア) 「 $E_p' \geq E_d, T \geq E_d$ 」ならば、入射粒子、衝突原子とも衝突地点を離れる。すなわち衝突原子は a になる。

(イ) 「 $E_p' \geq E_d, T < E_d$ 」又は「 $E_p' < E_d, T \geq E_d$ 」ならば、 E_d より大きなエネルギーを持つ原子のみが衝突地点を離れる。

(ウ) 「 $E_p' < E_d, T < E_d$ 」ならば、入射粒子、衝突原子とも衝突地点にとどまる。すなわち入射粒子はそこで b となる。

と仮定する。

そうすると

$$E_p < E_d \text{ ならば, } \nu(E_p) = \text{ c }$$

$$E_d \leq E_p < 2E_d \text{ ならば, } \nu(E_p) = \text{ d }$$

となる。

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>
① ２次はじき出し原子	格子間原子		0	1
② 格子間原子		２次はじき出し原子	0	1
③ ２次はじき出し原子	空格子点		0	1
④ ２次はじき出し原子	空格子点		1	0
⑤ 格子間原子		２次はじき出し原子	1	0

Ⅲ－８ フォールトツリーに関する次の記述の、に入る数式、数値又は語句の組合せとして、最も適切なものはどれか。

問題図１は原子炉注水システムHの簡略系統図であり、問題図２は当該系統のフォールトツリーである。ここで、PMP－H－Aは電動ポンプであり、PMP－H－Bはタービン駆動ポンプとする（両ポンプの共通原因故障は考慮しない）。

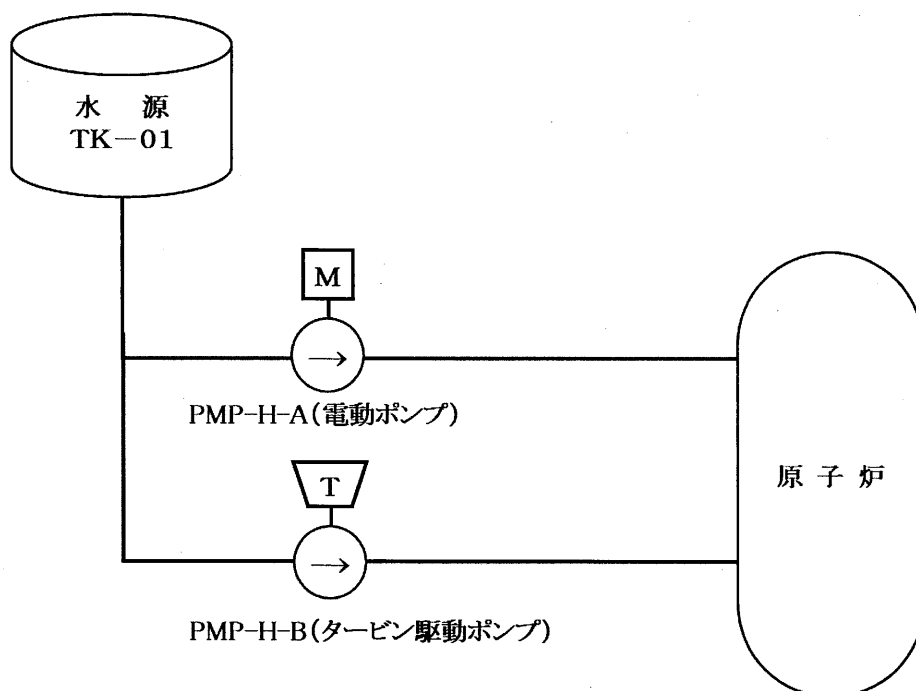
PMP－H－AとPMP－H－Bは必要注水容量の各々50%容量であるとする、問題図２中のゲートXは a ゲートである。

ゲートXが a ゲートである場合の原子炉注水システムHの非信頼度（Unreliability）は、その非信頼度が十分小さいため、式（１）となる。

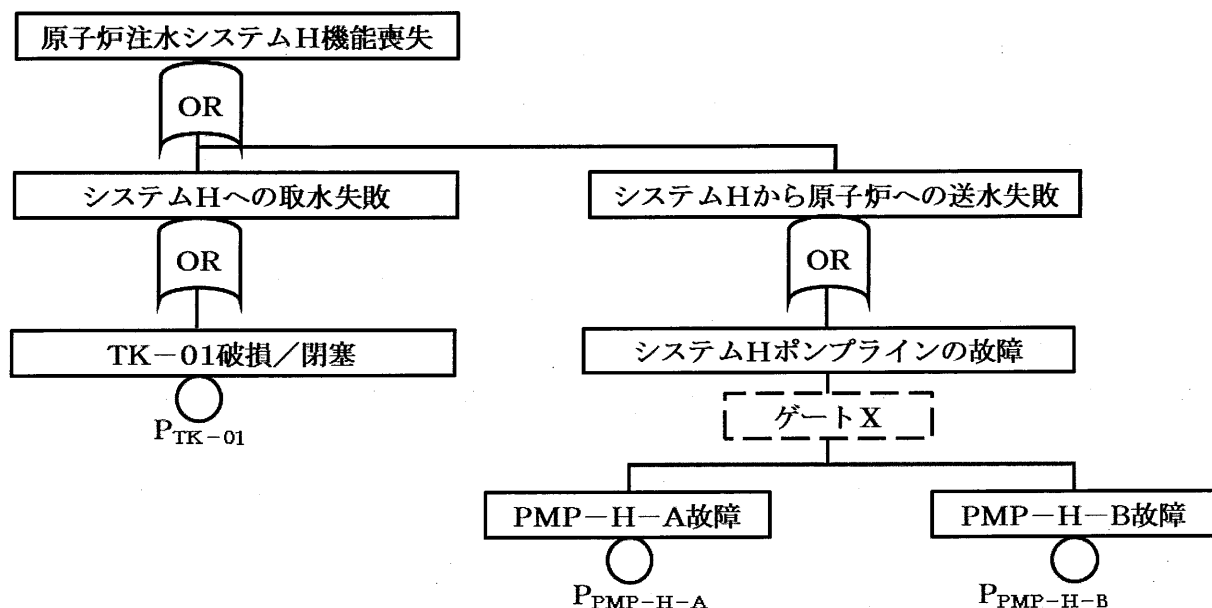
$$Unreliability(System_H) = P_{TK-01} + \text{ b$$
 (1)

問題表の数値を式（１）に代入すると、システムHの非信頼度は約 c となる。

次に、PMP－H－AとPMP－H－Bは必要注水容量の各々100%容量とすると、問題図２中のゲートXは d ゲートとなる。この場合のシステムHの非信頼度は、問題表の数値を用いて、約 e となる。



問題図１ 原子炉注水システムHの簡略系統図



問題図 2 原子炉注水システムHのフォールトツリー

問題表 機器故障確率一覧

基事象ID	確率値	備 考
P_{TK-01}	3.26×10^{-6}	タンク破損及び出口閉塞
$P_{PMP-H-A}$	1.39×10^{-4}	ポンプA故障（起動失敗及び継続運転失敗）
$P_{PMP-H-B}$	4.20×10^{-3}	ポンプB故障（起動失敗及び継続運転失敗）

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>	<u>e</u>
①	OR	$P_{PMP-H-A} + P_{PMP-H-B}$	4.34×10^{-3}	AND	3.84×10^{-6}
②	AND	$P_{PMP-H-A} \times P_{PMP-H-B}$	3.84×10^{-6}	OR	4.34×10^{-3}
③	OR	$P_{PMP-H-A} + P_{PMP-H-B}$	4.34×10^{-3}	AND	5.84×10^{-7}
④	AND	$P_{PMP-H-A} + P_{PMP-H-B}$	4.34×10^{-3}	OR	3.84×10^{-6}
⑤	OR	$P_{PMP-H-A} \times P_{PMP-H-B}$	3.84×10^{-6}	AND	4.34×10^{-3}

Ⅲ－９ システムの多重性，多様性，独立性の定義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。

「実用発電用原子炉及び附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」（平成25年6月19日原子力規制委員会決定，令和4年9月26日一部改正）において，多重性，多様性，独立性について以下のとおり定義されている。

「多重性」とは， a を有し，かつ，同一の b その他の性質を有する二以上の系統又は機器が同一の発電用原子炉施設に存在することをいう。

「多様性」とは， a を有する二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，これらの b その他の性質が異なることにより， c （二以上の系統又は機器に同時に影響を及ぼすことによりその機能を失わせる要因をいう。）又は d （単一の原因によって確実に系統又は機器に故障を発生させることとなる要因をいう。）によって同時にその機能が損なわれないことをいう。

「独立性」とは，二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， e その他の方法によりそれぞれ互いに分離することにより， c 又は d によって同時にその機能が損なわれないことをいう。

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>	<u>e</u>
①	同一の機能	制御方法	従属要因	共通要因	物理的方法
②	異なる二機能	構造，動作原理	人的要因	外的要因	物理的方法
③	同一の機能	構造，動作原理	共通要因	従属要因	常時監視
④	異なる二機能	制御方法	外的要因	人的要因	常時監視
⑤	同一の機能	構造，動作原理	共通要因	従属要因	物理的方法

Ⅲ－10 核融合反応に関する次の記述の、に入る数値又は語句の組合せとして、最も適切なものはどれか。

核融合反応は、2つの原子核を十分に近づけて、効果により核子を融合させる反応である。したがって、原子核の正電荷によるの小さい軽元素を使う方が有利である。また、重水素（D）や三重水素（T）の核融合反応を利用することが、反応により発生するエネルギーが大きく、エネルギー生産の観点からは好ましい。中でも、DT反応（重水素と三重水素の核融合）が相対的にエネルギーで最も核融合反応が生じやすい。

DT反応の反応式は次式となる。



各核種及び核子の原子質量は下記とする。

重水素（D）	:2.014102 amu
三重水素（T）	:3.016049 amu
^3He	:3.016029 amu
^4He	:4.002603 amu
中性子（n）	:1.008665 amu
陽子（p）	:1.007825 amu

式（1）において、質量欠損はamuであり、生成エネルギーは約MeVである。ここで、1amu=931.5MeVとする。

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>	<u>e</u>	<u>f</u>
① 光電		核力	高い	^4He	0.018883	17.6
② 量子トンネル		斥力	低い	^3He	0.019703	18.4
③ 光電		反跳力	高い	^4He	0.019723	17.6
④ 量子トンネル		斥力	低い	^4He	0.018883	17.6
⑤ 量子トンネル		核力	高い	^3He	0.019703	18.4

Ⅲ－11 原子炉に蓄積する核分裂生成物量に関する次の記述の、 に入る数式又は数値の組合せとして、最も適切なものはどれか。

原子炉が定格熱出力 P_0 で時間 t にわたって連続運転をすると、核種 i の原子核数の変化は、核種 i の生成と壊変のバランスから式(1)で表される。

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = \text{a} \quad (1)$$

ここで、

$N_i(t)$ = 時間 t における核種 i の原子核数

S_i = 単位時間当たりの核種 i の生成率 s^{-1}

λ_i = 核種 i の壊変定数 s^{-1}

単位時間当たりの核種 i の生成率 S_i は核種 i の核分裂収率から式(2)で定義される。

$$S_i = \Lambda Y_i = \frac{P_0}{\epsilon} Y_i \quad (2)$$

ここで、

Λ = 単位時間当たりの核分裂数 s^{-1}

Y_i = 1核分裂当たりの核種 i の収率

P_0 = 原子炉熱出力MW

ϵ = 1核分裂当たりの回収エネルギーJ

$N_i(0) = 0$ として、時間 t における核種 i の原子核数は、式(1)及び式(2)から式(3)となる。

$$N_i(t) = \text{b} \quad (3)$$

定格熱出力で原子炉を無限時間運転(必要に応じて、運転期間を1年と想定してもよい)した場合に全炉心に蓄積される ^{131}I は約 c molとなる。ここで、運転初期($t=0$ 秒)の ^{131}I の原子核数は0とする。

^{131}I の原子量を131g/molとすると、 c molは d kgに相当する。

【計算条件】

$P_0 = 3,293\text{MW}$ (BWR5の定格熱出力)

$Y_i = 2.84\%$

$\epsilon = 200\text{MeV} = 3.20 \times 10^{-11}\text{J}$

^{131}I の半減期 $T_{1/2} = 8.06\text{日}$

なお、計算においては、必要に応じて以下の定数を使用する。

アボガドロ数 $N_A = 6.02 \times 10^{23}$

自然対数 $\log_e 2 = 0.693$, $\log_e 3 = 1.099$

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>
①	$S_i - \lambda_i N_i(t)$	$\frac{P_0 Y_i}{\lambda_i \epsilon} (1 - e^{-\lambda_i t})$	4.9	0.64
②	$S_i + \lambda_i N_i(t)$	$\frac{P_0 Y_i}{\lambda_i \epsilon} (t - e^{-\lambda_i t})$	97	13
③	$S_i - \lambda_i N_i(t)$	$\frac{P_0 Y_i}{\lambda_i \epsilon} (1 + e^{-\lambda_i t})$	4.9	0.64
④	$S_i + \lambda_i N_i(t)$	$\frac{P_0 Y_i}{\lambda_i \epsilon} (t + e^{-\lambda_i t})$	9.7	1.3
⑤	$S_i - \lambda_i N_i(t)$	$\frac{P_0 Y_i}{\lambda_i \epsilon} (1 - e^{-\lambda_i t})$	0.49	0.064

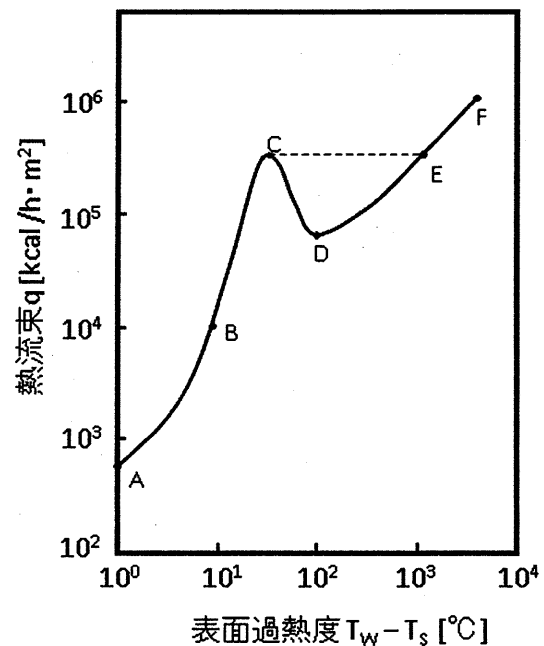
Ⅲ－12 燃料被覆管の伝熱挙動に関する次の記述の、に入る語句の組合せとして、最も適切なものはどれか。

燃料被覆管の表面過熱度（伝熱面温度と飽和温度の温度差）と熱流束は問題図の関係にある。

領域B－Cは、伝熱面でボイドが盛んに発生し、離脱するa領域である。

さらに、表面熱流速が増加し、Cの熱流束を超えると、b領域（E－F）に沸騰現象は移行する。ここで、沸騰現象は、c領域（C－D）を経ないで、直接E－F領域に移行するため、表面過熱度は急激に高くなる。点Cの熱流束を限界熱流束という。

軽水炉では、限界熱流束に対する熱的余裕を定義し、これを炉心管理における指標としている。この指標を、PWRではdとし、BWRではeとしている。



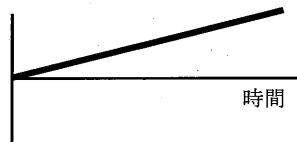
問題図 燃料被覆管の表面過熱度と熱流束

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>	<u>e</u>
①	核沸騰	膜沸騰	遷移沸騰	MCPR	DNBR
②	核沸騰	遷移沸騰	膜沸騰	DNBR	MCPR
③	サブクール沸騰	膜沸騰	遷移沸騰	MCPR	DNBR
④	核沸騰	膜沸騰	遷移沸騰	DNBR	MCPR
⑤	サブクール沸騰	核沸騰	膜沸騰	MCPR	DNBR

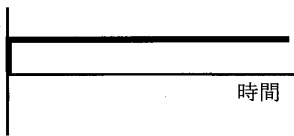
Ⅲ－13 偏差信号に対する応答特性に関する次の記述の、に入る図記号の組合せとして、最も適切なものはどれか。

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。

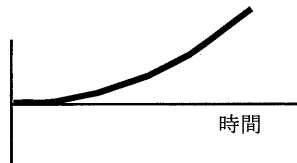
偏差信号がランプ関数（問題図）である場合，比例要素，積分要素，及び微分要素の出力（時間特性）に対応する図は各々 a b c である。これらを重ね合わせた結果として得られるPID制御の出力（時間特性）は d となる。



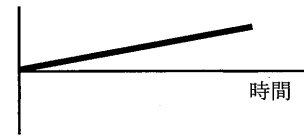
問題図 偏差信号の時間特性



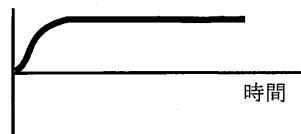
図A



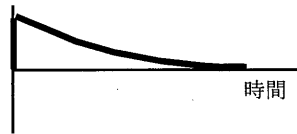
図B



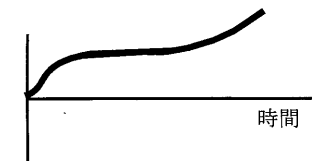
図C



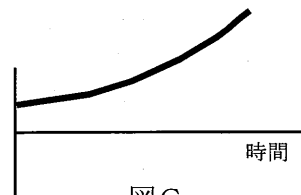
図D



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B | 図E | 図D |
| ③ | 図C | 図D | 図B | 図F |
| ④ | 図A | 図C | 図E | 図G |
| ⑤ | 図C | 図D | 図B | 図D |

Ⅲ－14 電気出力800MWの原子力発電プラントが運転されている。原子炉から送られてタービンを駆動した後の蒸気は復水器で海水によって冷却されて水に戻り、原子炉に戻される。以下の条件において、復水器に送り込まれる海水の流量 $[\text{m}^3/\text{s}]$ として、最も近い値はどれか。

【計算条件】

電気出力	: 800MW
取水温度	: 20℃
放水温度	: 27℃
熱効率	: 33%
海水比熱	: 4.2kJ/(kg・℃)
海水密度	: 1,000kg/m ³

- ① 48 ② 55 ③ 63 ④ 74 ⑤ 86

Ⅲ－15 原子番号 Z 、質量数 A の原子の質量を $M(Z, A)$ とする。この原子核の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。

ただし、軌道電子の結合エネルギーによる質量の寄与については考慮しないものとし、電子の静止質量を m_e とする。

- ① α 壊変では、常に $M(Z, A) > M(Z-2, A-4) + M(2, 4)$ が成り立つ。
- ② β^+ 壊変では、常に $M(Z, A) > M(Z-1, A) + 2m_e$ が成り立つ。
- ③ β^- 壊変では、常に $M(Z, A) > M(Z+1, A)$ が成り立つ。
- ④ EC (電子捕獲) 壊変では、常に $M(Z, A) > M(Z-1, A) + m_e$ が成り立つ。
- ⑤ 核異性体転移では、原子番号 Z 、質量数 A とともに変化しない。

Ⅲ－16 荷電粒子の衝突阻止能がベーテの式で記述できるエネルギー領域において、運動エネルギーが同じである重陽子と α 粒子の衝突阻止能の比として、最も適切なものはどれか。なお、重陽子は重水素の原子核であり、 α 粒子はヘリウムの原子核と同じものである。

- ① 1 : 2 ② 1 : 4 ③ 1 : 8 ④ 1 : 16 ⑤ 1 : 32

Ⅲ－17 放射線計測に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① ^{137}Cs の γ 線エネルギーを測定するために、GM計数管を用いる。
- ② ^{137}Cs の γ 線照射線量を測定するために、電流型電離箱を用いる。
- ③ ^{60}Co の γ 線エネルギーを測定するために、 ^3He ガスを封入した比例計数管を用いる。
- ④ 中性子エネルギースペクトルを測定するために、 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ シンチレーション検出器を用いる。
- ⑤ 中性子エネルギースペクトルを測定するために、Ge半導体検出器を用いる。

Ⅲ－18 10kBqの標準線源の放射能を、分解時間 $100\mu\text{s}$ のGM計数管で測定すると、計数率は、120,000cpmであった。この測定条件における真の計数率[cps]に最も近い値はどれか。

ただし、バックグラウンドは測定された計数率に比べ十分小さく、無視できるものとする。

- ① 2,000 ② 2,250 ③ 2,500 ④ 2,750 ⑤ 3,000

Ⅲ－19 γ 線のスペクトル測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 非荷電粒子である γ 線のスペクトル測定は、検出器物質と γ 線の相互作用によるため、実際に得られるスペクトルは γ 線と検出器物質との相互作用によって発生した二次電子の吸収によるエネルギースペクトルである。
- ② 入射した γ 線のすべてのエネルギーが検出器に付与される過程に光電効果があり、スペクトルに全吸収ピークを形成する。
- ③ スペクトル上に形成される連続分布は、主としてコンプトン電子によるものであり、その最大エネルギーがコンプトン端に相当する。
- ④ 入射した γ 線がコンプトン散乱を起こした場合、散乱 γ 線が光電効果を起こすか、多重散乱の後に最終的に光電効果を起こすことによって、全エネルギーが検出器に付与される。
- ⑤ 検出器に入射した γ 線が、検出器内で電子－陽電子対を生成する電子対生成を起こすことがあり、 γ 線のエネルギーがすべてこの電子と陽電子の運動エネルギーに変換されるため、全吸収ピークやシングルエスケープピーク等を形成する。

Ⅲ-20 半導体検出器に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① Ge半導体の禁制帯は約0.67eVであるが、Ge中で1個の電子正孔対を生成するのに要する放射線エネルギーは約3.0eVである。よってGeに1MeVの放射線のエネルギーがすべて吸収されると、およそ 3.3×10^5 個の電子正孔対が生成される。
- ② n型半導体とp型半導体を接合して順方向に電圧をかけると、接合面に電荷を運ぶキャリアの存在しない空乏層が形成される。空乏層に放射線が入射すると、電子正孔対からなるキャリアが生じる。
- ③ 半導体検出器の最も優れた特徴はピークスペクトルのエネルギー分解能が良いことである。半導体検出器は、空乏層が重要であり、その位置、厚さにのみ応じて測定対象となる放射線の種類及びエネルギーが決まる。
- ④ Siに対する放射線の飛程を考慮すると、 α 線、 β 線、重荷電粒子線が測定対象となり、Si半導体検出器では γ 線は測定対象とならない。
- ⑤ 化合物半導体として、CdTeやCdZnTeを用いた検出器が開発されている。これらの化合物半導体の禁制帯は比較的大きいものの、室温で動作させるのは困難であり冷却が必要となっている。

Ⅲ-21 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、最も適切なものはどれか。

- ① すべてのシンチレータは、蛍光強度が大きい、蛍光の減衰時間が短い、蛍光の透過性が大きい、蛍光波長が光検出器の波長感度特性によく合う、等の特性を有する。
- ② NaI (Tl) シンチレータに使われるNaI (Tl) は、無色透明な大きい結晶が作製でき、原子番号の大きいIを含んでいるため、 γ (X) 線に対して高い計数効率が得られるとともに、 β 線や α 線測定にも用いられる。
- ③ プラスチックシンチレータは、加工が容易であり、薄膜やファイバー状への加工や、大型のものの作製が可能であるため、 α 線、 β 線の測定によく使用されるが、高速中性子の測定に使用されることは無い。
- ④ BGOシンチレータは、Geイオンの発光現象を利用しており、原子番号の大きいBiが含まれているため γ 線に対する検出効率が高く、潮解性が無いという利点があるが、他のシンチレータと比較しエネルギー分解能に劣る欠点がある。
- ⑤ 液体シンチレータでは、放射性試料をシンチレータに均一に混入させて測定を行う場合があり、発光量が減少するクエンチングが問題となるため、クエンチング補正法を用いる必要がある。

Ⅲ-22 塩化カリウム500 g 中に含まれる ^{40}K の放射能 [Bq] に最も近い値はどれか。

ただし、 ^{40}K の天然同位体存在比を0.0117%， ^{40}K の半減期を 1.25×10^9 年，カリウムの原子量を39.1，塩素の原子量を35.5， $\log_e 2 = 0.693$ ，アボガドロ数を 6.02×10^{23} とする。

- ① 1.2×10^3
- ② 8.3×10^3
- ③ 1.2×10^4
- ④ 8.3×10^5
- ⑤ 1.2×10^6

Ⅲ-23 半減期433年の ^{241}Am が $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ 存在する。この放射性物質から10年間に発生するヘリウムの体積 [cm^3] として、最も近い値はどれか。

ただし、 ^{241}Am の減衰及び子孫核種の壊変の影響は無視する。また、 $\log_e 2 = 0.693$ ，アボガドロ数を 6.02×10^{23} ，1mol当たりのヘリウムの体積を $2.24 \times 10^4 \text{cm}^3$ とする。

- ① 0.011 ② 0.022 ③ 0.043 ④ 0.22 ⑤ 0.43

Ⅲ-24 親核種の半減期 T_1 が、その子孫核種の半減期 T_2 に比べて十分に長く、子孫核種は最初存在しなかったとする。 T_2 より十分に長い時間が経過し、永続平衡が成り立っているとときの親核種及び子孫核種の放射能をそれぞれ A_1 ， A_2 とすると、この場合、近似的に成り立つ式として、最も適切なものはどれか。

- ① $A_1/A_2 = T_2/(T_1 + T_2)$
- ② $A_1/A_2 = T_2/(T_1 - T_2)$
- ③ $A_1/A_2 = T_2/T_1$
- ④ $A_1/A_2 = T_1/T_2$
- ⑤ $A_1/A_2 = 1$

Ⅲ-25 次の(ア)～(エ)の加速器のうち、荷電粒子の加速に主として静電場を利用しているものの組合せとして、最も適切なものはどれか。

(ア) シンクロトロン (Synchrotron)

(イ) バンデグラフ (Van de Graaff) 型加速器

(ウ) コッククロフト・ウォルトン (Cockcroft-Walton) 型加速器

(エ) リニアック (Linear Accelerator)

- ① (ア) と (イ)
- ② (ア) と (ウ)
- ③ (イ) と (ウ)
- ④ (イ) と (エ)
- ⑤ (ウ) と (エ)

Ⅲ-26 放射線医療に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① ^{99}Mo — $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ジェネレーターは、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の半減期が ^{99}Mo の半減期よりも長いことを利用する。
- ② ^{131}I は、ヨウ素が甲状腺に取り込まれる性質を利用して、検査や治療に利用される。
- ③ 陽子や炭素ビームを用いた粒子線治療は、ブラッグピークの深さがエネルギーに依存することを利用する。
- ④ 電子リニアックで発生するX線を利用し、がんの放射線治療が行われている。
- ⑤ ポジトロンCT (PET) では、2本の消滅放射線を利用し、放出核種の体内分布を画像化する。

Ⅲ-27 重さ800 gの臓器が γ 線により一様に照射されている。 γ 線により生じた電子線が、臓器内の細胞を平均1回通過する線量が照射された場合、この臓器の吸収線量 [Gy] として、最も近い値はどれか。

ただし、臓器は 1×10^{12} 個の細胞で構成されているとし、1本の電子線が1つの細胞に付与するエネルギーを5 keV、 $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$ とする。

- ① 8×10^{-4} ② 1×10^{-3} ③ 8×10^{-2} ④ 0.8 ⑤ 1

Ⅲ－28 厚さ3.0cmの鉛容器に入れた ^{137}Cs 線源を輸送する場合において、容器表面線量率が $5\text{ }\mu\text{Sv/h}$ を超えないようにするためには、最大の放射能[MBq]として、最も近い値はどれか。

ただし、線源から輸送容器表面までの最短距離は20cmであり、遮へい効果は鉛容器についてのみ考慮し、輸送容器については無視できるものとする。また、 ^{137}Cs の1cm線量当量率定数を $0.0927\text{ }[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}]$ 、 ^{137}Cs に対する鉛の半価層は0.75cmとする。

- ① 8.6 ② 17 ③ 34 ④ 86 ⑤ 170

Ⅲ－29 我が国での軽水炉の現時点における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 我が国は、資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム等を有効利用する核燃料サイクルの推進を基本的方針としている。
- ② 我が国は、利用目的のないプルトニウムを持たないとの原則を堅持し、「我が国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方」（2018年原子力委員会決定）を踏まえ、プルトニウム保有量を適切に管理し、削減に取り組んでいる。
- ③ 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をMOX燃料として軽水炉に用い、高速中性子によってプルトニウムとマイナーアクチニドを燃焼させる方法を、ブルサーマルと呼んでいる。
- ④ 六ヶ所再処理工場では、溶媒抽出工程でリン酸トリブチルを用いるピューレックス法が採用されており、ウランとプルトニウムを混合状態で抽出し、次に、ウランとプルトニウムを分離し、脱硝工程においてプルトニウムはウランとの混合酸化物とする。
- ⑤ 使用済燃料の中間貯蔵は、安定的かつ継続的に原子力発電を利用するうえで、使用済燃料の管理や輸送等の柔軟性を高めるものであり、原子力発電所の敷地内外を問わず、中間貯蔵施設や乾式貯蔵施設等の建設・活用が進められている。

Ⅲ－30 我が国の放射性廃棄物の処理・処分に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 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、放射性物質として扱う必要のないものとして規制の対象から外すことをいう。
- ③ トレンチ処分とは、原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物のうち、炉心から遠い位置から出る極めて放射能レベルが低い廃棄物を処分する方法であり、50年程度の管理期間を経た後は、一般的な土地利用が可能となる。
- ④ 原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物のうち、放射能レベルが低い廃液や使用済樹脂、焼却灰をセメントでドラム缶に固型化したものは、浅い地中に設置したコンクリート製のピットに処分されている。
- ⑤ 原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物のうち、原子炉の炉内構造物や制御棒の比較的放射能レベルが高い廃棄物は、地下300メートル以深に地層処分することになっている。

Ⅲ－31 原子力発電所の40年間の運転によって発生する使用済燃料が全量再処理されるとして、発生する高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の本数に最も近い値はどれか。
ただし、計算に当たっての条件は以下のとおりとする。

- ・ 1年間の総発電電力量：10,000億kWh
- ・ 総発電電力量に対する原子力発電の割合：15%
- ・ 原子力発電の熱効率：34%
- ・ 使用済燃料の燃焼度：48,000MWd／t
- ・ 使用済燃料に対するガラス固化体の発生量：1.3本／t

- ① 2,000本 ② 15,000本 ③ 20,000本 ④ 200,000本 ⑤ 500,000本

Ⅲ－32 国際エネルギー機関（IEA）は毎年「世界エネルギー展望（World Energy Outlook）」と題する出版物を公表し、世界のエネルギー情勢の概観や今後の展望などをまとめている。次の記述のうち、2024年10月に公表された“World Energy Outlook 2024”の内容との整合において、最も不適切なものはどれか。

- ① 中東における紛争やウクライナ領内で進行中のロシアによる戦闘は、世界が直面するエネルギー安全保障上のリスクを示しており、地政学的緊張と分断は、世界各国のエネルギー安全保障と温室効果ガス排出量削減に向けた協調行動にとって大きなリスクであり続けている。
- ② AI（人工知能）の利用増加に伴う電力消費の増加や、気温上昇に伴う冷房需要の増大などは、今後の電力需要の増加に寄与すると考えられる。
- ③ 中国は現状、世界の再生可能エネルギー設備の増加の中でも大きな比率を占めている。また、リチウムイオン電池等、クリーンエネルギー技術のサプライチェーンも中国にかなり集中している。
- ④ 太陽光発電、風力発電、原子力発電、電気自動車、ヒートポンプ、水素、二酸化炭素捕集といったクリーンエネルギー技術は、現実的で安全なエネルギー転換の鍵であり、今後の二酸化炭素排出量削減に大きく貢献することが期待される。
- ⑤ 今後、世界各国が現行のエネルギー・環境政策を継続した場合、再生可能エネルギーや原子力等のクリーンエネルギー利用が拡大する。このため、これらの政策を反映したシナリオ（STEPS）では、化石燃料の安定供給に関するリスクは、大幅に減少する可能性が高い。

Ⅲ－33 設備容量 A [kW]，年間発電電力量 B [kWh] の発電所の資本費，運転・維持費，燃料費等の年間合計額（年間総費用）が，

$$(A \times f + B \times v) \text{ [円/年]}$$

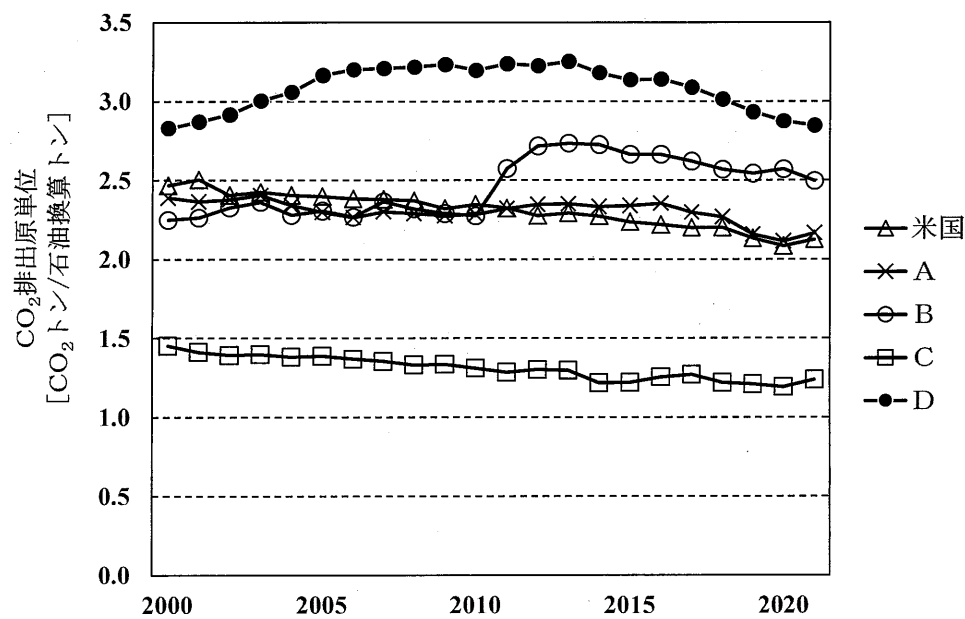
と表されるものとする。ここで， f は年間固定費単価 [円/kW/年]， v は可変費単価 [円/kWh] である。

いま，設備容量が同じ原子力発電所とLNG火力発電所があったとする。仮に両発電所の設備利用率が同じ値 x であったとした場合，両発電所の年間総費用が等しくなる x に最も近い値はどれか。なお，計算の条件は以下のとおりである。

- ・原子力発電所の年間固定費単価：5.0万円/kW/年
- ・原子力発電所の可変費単価：1.9円/kWh
- ・LNG火力発電所の年間固定費単価：2.3万円/kW/年
- ・LNG火力発電所の可変費単価：9.0円/kWh

- ① 23% ② 43% ③ 63% ④ 83% ⑤ 93%

Ⅲ－34 問題図は、2000年から2021年までのCO₂排出原単位（CO₂排出量を一次エネルギー供給量で除した値）の推移を国別に示したものである。この図におけるA、B、C、Dの国の正しい組合せとして、最も適切なものはどれか。



問題図 CO₂排出原単位の推移（2000年～2021年）

（出典：日本エネルギー経済研究所『エネルギー・経済統計要覧2024年版』より作成）

- | | <u>A</u> | <u>B</u> | <u>C</u> | <u>D</u> |
|---|----------|----------|----------|----------|
| ① | 中国 | フランス | 日本 | ドイツ |
| ② | 中国 | 日本 | フランス | ドイツ |
| ③ | 日本 | ドイツ | フランス | 中国 |
| ④ | ドイツ | 日本 | フランス | 中国 |
| ⑤ | ドイツ | フランス | 日本 | 中国 |

Ⅲ－35 第7次エネルギー基本計画（令和7年2月閣議決定）に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 太陽光発電は、国土面積当たりの太陽光の導入容量は主要国中最大となるなど、我が国において導入が着実に進展している。更なる導入拡大に当たっては、地域との共生と国民負担の抑制を前提とすべきである。
- ② 風力発電は、陸上の開発しやすい平野部での適地が減少している一方で、洋上では、北海道や東北地方など導入ポテンシャルの高い地域が存在し、また、陸上に比べて大規模開発が可能となる。
- ③ 水力発電は安定した出力を長期的に維持することが可能な脱炭素電源として重要であるが、開発コストや規制対応等に起因する開発リスクが高いことに加え、今後は設備容量の減少や設備の老朽化も見込まれる。
- ④ 原子力発電は燃料投入量に対するエネルギー出力が大きく、数年にわたって国内保有燃料だけで発電が維持できる準国産エネルギー源として、優れた安定供給性と技術自給率を有する。しかし原発依存度については、今後、可能な限り低減させる。
- ⑤ 火力発電は電力の安定供給力、再生可能エネルギーによる出力変動等を補う調整力として重要な役割を担っている。電力の安定供給に必要な発電容量（kW）を維持・確保しつつ非効率な石炭火力を中心に発電量（kWh）を減らしていく。