

## 第 66 回

原子炉主任技術者試験（筆記試験）

### 原子炉の運転制御

6問中5問を選択して解答すること。（各問20点：100点満点）

- （注意）（イ）解答用紙には、問題番号のみを付して解答すること。  
（指示がない限り問題を写し取る必要はない。）
- （ロ）1問題ごとに1枚の解答用紙を使用すること。
- （ハ）第1問については、6項目中5項目を選択して解答すること。

令和6年3月14日

第1問 以下の(1)～(6)の中から**5項目**を選択し、用語について説明せよ。なお、6項目を解答した場合は、全ての解答を無効とする。

- (1) 安全機能及びその重要度分類
- (2) 運転状態Ⅰ、運転状態Ⅱ、運転状態Ⅲ、運転状態Ⅳ
- (3) 3 way コミュニケーション
- (4) プラントライフマネジメント
- (5) アブレッシブ摩耗、凝着摩耗、腐食摩耗、フレットィング摩耗
- (6) 運転責任者

第2問 以下の問いに答えよ。

- (1) 過剰反応度 (excess reactivity) とはどのようなものか、説明せよ。
- (2) 炉停止余裕 (shutdown margin) とはどのようなものか、説明せよ。
- (3) 炉停止余裕におけるワンロッドスタックマージン (one rod stuck margin) とはどのようなものか、説明せよ。
- (4) 可燃性毒物 (burnable poison) とはどのようなものか、説明せよ。
- (5) 炉心の反応度は燃焼により変化する。運転期間中の反応度変化のうち、正の反応度変化を示すもの及び負の反応度変化を示すものをそれぞれ2つ挙げ、それぞれの反応度変化の生じる物理的理由を反応度の増減とともに説明せよ。

第3問 出力  $N_0$  の臨界状態で運転している原子炉にステップ状に反応度を加えた時の挙動について、以下の問いに答えよ。

- (1) 反応度印加後の原子炉の出力変化における安定炉周期とは何か、説明せよ。
- (2) 遅発中性子を一群とした一点炉近似動特性方程式は以下で示される。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN}{dt} = \frac{\rho - \beta}{l} N + \lambda C \\ \frac{dC}{dt} = \frac{\beta}{l} N - \lambda C \end{array} \right.$$

$N$  : 中性子数 (出力)  
 $C$  : 遅発中性子先行核密度  
 $\rho$  : 反応度  
 $\beta$  : 遅発中性子割合  
 $l$  : 中性子寿命 (世代時間)  
 $\lambda$  : 先行核崩壊定数

出力  $N_0$  の臨界状態で運転している原子炉に正の反応度  $\rho_0$  がステップ状に印加された場合を考える。この時、印加された反応度が以下の式で表せることを上記の動特性方程式を基に示せ。

$$\rho_0 = \left(1 - \frac{N_0}{N}\right)\beta$$

- (3) 炉心に印加された正の反応度  $\rho$  と安定炉周期  $T$  との関係を示せ。
- (4) 投入される反応度が非常に大きな負の反応度であった場合、安定炉周期はどのようになるか、その理由とともに説明せよ。

第4問 原子炉を運転時に中性子束、キセノン 135 濃度及びヨウ素 135 濃度がそれぞれ平衡状態で  $\phi_0$ 、 $X_0$ 、 $I_0$  であった。

中性子束、キセノン 135 濃度及びヨウ素 135 濃度は時間  $t$  の関数として、それぞれ  $\phi(t)$ 、 $X(t)$ 、 $I(t)$  と表せるとする。

$\phi(t)$ 、 $X(t)$ 、 $I(t)$  がそれぞれ  $\phi_0 + \delta\phi(t)$ 、 $X_0 + \delta X(t)$ 、 $I_0 + \delta I(t)$  と変動したとする。

この時、変動成分を表す一点炉近似動特性方程式は下記で表せる。

ここで、 $\Sigma_f$  : 巨視的核分裂断面積、 $\sigma_X$  : キセノン 135 の微視的吸収断面積、 $\gamma_X$  : キセノン 135 の核分裂収率、 $\gamma_I$  : ヨウ素 135 の核分裂収率、 $\lambda_X$  : キセノン 135 の崩壊係数、 $\lambda_I$  : ヨウ素 135 の崩壊係数である。

$$\frac{d\delta X(t)}{dt} = \lambda_I \delta I(t) + \gamma_X \Sigma_f \delta\phi(t) - \lambda_X \delta X(t) - \sigma_X \phi_0 \delta X(t) - \sigma_X X_0 \delta\phi(t) \quad (a)$$

$$\frac{d\delta I(t)}{dt} = \gamma_I \Sigma_f \delta\phi(t) - \lambda_I \delta I(t) \quad (b)$$

(a) 式、(b) 式をラプラス変換し、中性子束からキセノン濃度への伝達関数  $G_X(s) = \delta X(s)/\delta\phi(s)$  は以下で表される。

$$\frac{\delta X(s)}{\delta\phi(s)} = \frac{(\gamma_X \Sigma_f - \sigma_X X_0)s + \{\lambda_I(\gamma_X + \gamma_I)\Sigma_f - \lambda_I \sigma_X X_0\}}{\{s + (\lambda_X + \sigma_X \phi_0)\}(s + \lambda_I)} \quad (c)$$

- (1) (c)式の伝達関数  $G_X(s)$  において、核分裂によるキセノンの生成と中性子吸収による消滅が同じである、すなわち、 $\gamma_X \Sigma_f = \sigma_X X_0$ 、のときの  $G_X(s)$  及び  $G_X(t)$  を求めよ。なお、 $t$  は時間で sec である。

必要に応じて、下記のラプラス変換表を利用してよい。

$f(t)$	$F(s)$
1	$\frac{1}{s}$
t	$\frac{1}{s^2}$
$e^{at}$	$\frac{1}{s-a}$

- (2) 簡単化のために、以下、時間の単位を  $10^5 \text{ sec}$  とする。  $\lambda_I = 3 (/10^5 \text{ sec})$ 、  
 $\lambda_X = 2 (/10^5 \text{ sec})$ 、  $\gamma_I = 0.06$ 、  $\gamma_X = 0.01$ 、  $\sigma_X = 4 \times 10^6 (\text{barn})$ 、  
 $\phi_0 = 3 \times 10^{16} (\text{n/cm}^2/10^5 \text{ sec})$ 、  $\Sigma_f = 0.1 (/cm)$  とする。

(1) で求めた伝達関数の角周波数を  $\omega$  とし、  $\omega \ll 1 (/10^5 \text{ sec})$ 、  $\omega = 10 (/10^5 \text{ sec})$ 、  
 $\omega \gg 1 (/10^5 \text{ sec})$  となる時のゲイン (dB) と位相 (度) を求めよ。

各係数の有効数字は一桁でよい。

$\log_{10} 20 = 1$ 、  $\log_{10}(3 \times 10^{-3}) = -3$ 、  $\log_{10}(2 \times 10^{-4}) = -4$ 、  $\sqrt{10} = 3$ 、  
 $\tan^{-1}(0.5) = 30 \text{ 度} (= -150 \text{ 度})$  とする。

- (3) (1) で求めた伝達関数の角周波数を  $\omega (/10^5 \text{ sec})$  とし、ボード線図の概要を  
 $10^{-1} < \omega < 10^3$ 、ゲイン (db)  $-160 \sim -40$ 、位相  $-180^\circ \sim 0^\circ$  の範囲で描け。



第5問 原子炉の安定性に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 発電用軽水炉の安定性について3つ挙げよ。
- (2) 上記安定性のうち、2つについて説明せよ。
- (3) 安定性対策設備の例を1つ示し、説明せよ。

第6問 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」の第七十四条（運転員が原子炉制御室にとどまるための設備）では、発電用原子炉施設について、炉心の著しい損傷が発生した場合（重大事故等対処設備（特定重大事故等対処施設を構成するものを除く。）が有する原子炉格納容器の破損を防止するための機能が損なわれた場合を除く。）においても、運転員が原子炉制御室にとどまるために必要な設備を施設することを求めている。炉心の著しい損傷が発生した場合の中央制御室の居住性等に関する手順について、以下の問いに答えよ。

- (1) 炉心の著しい損傷が発生した場合の原子炉制御室の居住性に係る要件のうち、原子炉制御室の運転員の被ばくの観点で設定される判断基準を答えよ。
- (2) 上記(1)の判断基準を満足するために講じられる措置・手順を、「交流動力電源が正常な場合」について、答えよ。また、「全交流動力電源が喪失した場合」に追加される措置・手順について答えよ。
- (3) 原子炉制御室の外側が放射性物質により汚染したような状況下において、原子炉制御室への汚染の持ち込みを防止するために講じる措置について、答えよ。また、「全交流動力電源が喪失した場合」に追加される措置・手順について答えよ。
- (4) PWR 及び BWR について、原子炉制御室の居住性を確保するために原子炉格納容器から漏れいした空気中の放射性物質の濃度を低減する必要がある場合に設置することが要求される設備をそれぞれ答えよ。



【メモ】

【メモ】

【メモ】

