

## 第 62 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。

（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問中5問を選択して解答すること。

令和2年3月18日

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

- (1) 多重防護と多重障壁
- (2) 過剰反応度と反応度停止余裕
- (3) 監視試験片
- (4) 安全実績指標
- (5) フィード・アンド・ブリード
- (6) HEAF

第2問 原子炉プラントのプロセス計装に関し、以下の(1)及び(2)の測定に用いられる計測機器についてそれぞれ2つ例を示し、その原理を説明せよ。なお、3つ以上解答した場合は、全ての解答を無効とする。

(1) 圧力

(2) 流量

第3問 低出力で一定出力の運転をしている原子炉を考える。この原子炉の実効遅発中性子割合を $\beta$ とする。この炉においては一点炉近似が成り立つものとし、反応度の温度フィードバックは無視できるとする。この原子炉に反応度を加えた場合の挙動について、以下の問いに答えよ。

- (1) この原子炉に小さな正の反応度 $\rho_1$ がステップ状に加わった。 $(\beta \gg \rho_1)$  これにより出力が $n_0$ から $n_1$ に急速に上昇し、その後安定ペリオドで上昇した。このとき、 $n_1/n_0$ はどのように表されるか。
- (2) 次に、安定ペリオドで出力が上昇し、出力が $n_2$ になった時点で更に小さな反応度がステップ状に加わった。 $(\rho_1 > \rho_2, \beta > \rho_1 + \rho_2)$  この反応度の印加直後に出力が $n_2$ から $n_3$ に急速に上昇し、その後安定ペリオドで上昇した。この時の挙動は反応度がゼロの状態から微小反応度が加わった時と同様の挙動となる。このとき、 $n_3/n_2$ はどのように表されるか。また、反応度が加わった後の安定ペリオドは(1)の時と比較してどのように変化するか。
- (3) 次に、安定ペリオドで出力が上昇し、出力が $n_4$ になった時点で負の反応度 $-\rho_3$ がステップ状に加わった。 $(|\rho_3| > \rho_1 + \rho_2)$  この反応度の印加直後に出力が $n_4$ から $n_5$ に変化し、その後安定ペリオドで変化した。このとき、 $n_5/n_4$ はどのように表されるか。
- (4) (3)において、より大きな負の反応度 $-\rho_4$  ( $|\rho_4| > |\rho_3|$ ) がステップ状に加わり、1\$を大きく超える未臨界となった場合を考える。この時の安定ペリオドはどのようになるか、理由と合わせて説明せよ。

第4問 原子炉で反応度を制御する方法について、以下の問いに答えよ。

- (1) 中性子吸収効果を持つ物質として、実際の原子炉での反応度制御に用いられている材料あるいは成分を3つ挙げ、それぞれが使用されている機器・設備について述べよ。
- (2) 減速材の状態変化により反応度が変化する原理を、具体的な減速材を3種類例に挙げて説明せよ。
- (3) 原子炉運転時の出力調整に用いられる反応度制御方式を、3種類挙げてそれぞれについてどのようなものか説明せよ。

第5問 伝達関数  $G(s)$  が次式で表される二次遅れ制御要素について、以下の問いに答えよ。

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 2s + 1}$$

- (1) この制御要素の単位インパルス時間応答  $g(t)$  を示せ。  $t$  は時間で sec である。  $t < 0$  で  $g(t) = 0$  である。
- (2) この伝達関数の角周波数を  $\omega$  (rad/sec) とし、  $\omega \ll 1$ 、  $\omega = 1$ 、  $\omega \gg 1$  となる時のゲイン (dB) と位相 (度) を求めよ。また、ボード線図の概要を、  $0.01 < \omega < 100$ 、ゲイン (dB)  $-100 \sim 0$ 、位相  $-180^\circ \sim 0^\circ$  の範囲で描け。ただし、  $\text{Log}_{10} 2 = 0.3$  とする。
- (3) この制御要素に図 1 のようなフィードバック要素をかけた時の閉ループ伝達関数  $W(s) = Y(s)/X(s)$  を求めよ。ただし、  $K$  は正の定数である。

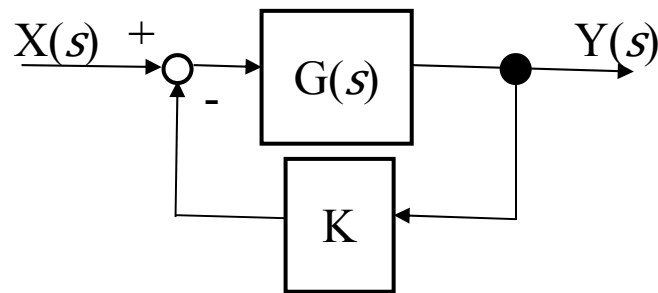


図 1

- (4) (3) で示した制御要素が安定であるための、安定限界となる  $K$  の値を求めよ。

第6問 発電用原子炉施設は、当該施設の安全性が損なわれないよう、火災の発生を防止することができ、かつ、早期に火災発生を感知する設備及び消火を行う設備並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならない。これについて、以下の問いに答えよ。

- (1) 火災の発生を防止する措置のうち、「発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域」において考慮すべき事項を5つ挙げよ。
- (2) 早期に火災発生を感知するために用いる「火災感知設備」において考慮すべき事項を5つ挙げよ。
- (3) 消火活動に用いる「消火設備」は、火災の火炎及び熱による直接的な影響のみならず、煙、流出流体、断線、爆発等による二次的影響が安全機能を有する構築物、系統及び機器に悪影響を及ぼさないように設置する必要がある。この他に、消火剤に水を使用する消火設備特有の設計上考慮すべき事項を4つ、消火剤にガスを使用する消火設備特有の設計上考慮すべき事項を1つ挙げよ。
- (4) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」において策定が要求される「火災防護計画」に定めるべき内容について説明せよ。