

第 64 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問中5問を選択して解答すること。

令和4年3月16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) 受動的安全性
- (2) P制御、PI制御、PD制御、PID制御
- (3) 原子炉冷却材圧力バウンダリ、原子炉格納容器及び原子炉格納容器バウンダリ
- (4) 施設管理方針、施設管理目標、施設管理実施計画
- (5) シビアアクシデント、アクシデントマネジメント
- (6) ハードワイヤード回路

第2問 軽水炉における制御棒の反応度値に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 制御棒の反応度値測定法の1つにペリオド法がある。ペリオド法の原理について説明せよ。
- (2) ペリオド法を行う上での注意事項について述べよ。
- (3) 均質で温度一様な原子炉において、制御棒が上から垂直方向に挿入される場合を考える。1本の制御棒について、単位引き抜き量当たり炉心に加えられる反応度 ($d\rho/dx$: 微分反応度) はどのような分布になるか図示せよ。
- (4) 上記(3)の原子炉の燃焼が進むにつれ、いくつかの理由により制御棒の微分反応度値分布が変化するが、どのような原因により変化するか、その理由と併せて説明せよ。
- (5) 制御棒の反応度値測定法として逆動特性法が用いられている。これはどのような方法か説明せよ。また、ペリオド法と比較した場合の利点について説明せよ。

第3問 以下の運転・制御に関する文章において□内に入る適切な語句を選択肢から選び、記号を番号とともに示せ。なお、同じ記号を複数回選んでもよい。

〔解答例〕 ㉑－（ワ）

- (1) BWR では、原子炉の起動停止等の大幅な出力変更、燃料の燃焼による反応度の変化の補償及び□①の調整に□②を用いる。
- (2) BWR では、比較的早い出力調整には□③が用いられる。これは、BWR の炉心に存在する□④が主として反応度に影響することを利用するものである。
- (3) PWR では、運転状態の変化に対応した温度変化、□⑤、燃料の燃焼などに伴う時間的に緩やかな反応度変化に対して□⑥で制御する。
- (4) PWR で使用される制御棒は□⑦と呼ばれ、通常運転中は多くのものが□⑧にある。
- (5) 高出力の試験研究用原子炉では、原子炉スクラム後からある時間が経過すると、□⑨が原子炉の□⑩を上回るため、原子炉を再起動できない期間が生じる。
- (6) U^{235} を燃料とする原子炉にステップ状の大きな負の反応度を加えた場合、原子炉の出力は急激に減少した後、約□⑪の安定ペリオドで低下する。
- (7) 軽水炉において最も有効な即発的な負の反応度フィードバックの指標として□⑫があり、その値は□⑬の大きさの程度である。
- (8) 軽水炉では実効遅発中性子割合は□⑭程度であり、即発中性子生成時間は□⑮程度である。
- (9) 同じ炉型であれば原子炉の大きさが小さくなると実効遅発中性子割合は□⑯なる。

(10) 混合酸化物燃料を用いた軽水炉では、プルトニウムの遅発中性子割合が U^{235} 燃料に比べて ⑰ ため、ウラン燃料の軽水炉と比較して反応度投入時の出力上昇量が ⑱ なる。

(11) 大型のナトリウム冷却型高速炉では、 ⑲ が正となることがあるので、冷却材が ㉑ しないように設計する必要がある。

【選択肢】

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| (ア) 十字型制御棒 | (イ) クラスタ型制御棒 |
| (ウ) 平板型制御棒 | (エ) 微調整棒 |
| (オ) ケミカルシム | (カ) 流量制御 |
| (キ) 温度制御 | (ク) 圧力制御 |
| (ケ) 蒸気ボイド | (コ) 沸騰 |
| (サ) 固化 | (シ) 喪失 |
| (ス) ゼノン毒作用 | (セ) 過剰反応度 |
| (ソ) 炉停止余裕 | (タ) ドップラ係数 |
| (チ) 減速材温度係数 | (ツ) 大きい |
| (テ) 小さい | (ト) 大きく |
| (ナ) 小さく | (ニ) 硬く |
| (ヌ) 柔らかく | (ネ) 炉心外 |
| (ノ) 炉心内 | (ハ) 炉心中央 |
| (ヒ) ナトリウムボイド係数 | (フ) ナトリウム温度係数 |
| (ヘ) 炉心出力分布 | (ホ) 炉心流量分布 |
| (マ) 炉心温度分布 | (ミ) -10^{-5} ($\Delta k/k/K$) |
| (ム) -10^{-3} ($\Delta k/k/K$) | (メ) -10^{-1} ($\Delta k/k/K$) |
| (モ) 0.007 | (ヤ) 0.7 |
| (ユ) 0.07 | (ヨ) 10^{-4} 秒 |
| (ラ) 10^{-6} 秒 | (リ) 10^{-2} 秒 |
| (ル) 40 秒 | (レ) 80 秒 |
| (ロ) 100 秒 | |

第4問 負の温度係数 $-\alpha$ ($(\Delta k/k)/K$)、熱容量 $C(J/K)$ の原子炉が定常状態で運転されているとき、ステップ状反応度 $\rho_0(\Delta k/k)$ を加えた。

α は正の定数とする。遅発中性子の効果は無視する。反応度印加後の発生熱は全て炉の温度上昇に使われるものとする。過渡変化は小さく、実効増倍率 $k_{\text{eff}} = 1$ からの変動は小さいとする。

初期原子炉出力 P_0 (W)、即発中性子寿命 l (s)、初期温度を T_0 (K) とする。

ここで、中性子世代時間 $\Lambda = \text{即発中性子寿命 } l$ と近似できるとすると、反応度 ρ が加えられた時の、負の温度係数を考慮しない原子炉出力 (P) は以下の一点炉近似動特性方程式により記述できるとする。

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\rho}{l} P \quad (\text{i})$$

- (1) 温度上昇を ΔT (K) とした時、負の温度係数を考慮した原子炉出力 (P) の一点炉近似動特性方程式を ρ_0 、 α を用いて記述せよ。
- (2) 出力 P が最高に達した時の温度 (K) はいくらか。
- (3) 上記 (2) の時の出力はいくらか。
- (4) 最高温度はいくらか。

第5問 原子炉核計装に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 原子炉核計装において、起動領域、中間領域、出力領域に用いられる代表的な中性子検出器を示せ。
- (2) 検出器を動作させる場合、パルスモードと電流モードがあるが、それぞれの長所・短所を述べよ。
- (3) 核分裂電離箱の中性子 - ガンマ線比改善のために用いられるキャンベル法 (MSV モードとも呼ばれる) について原理を説明せよ。

第6問 発電用原子炉施設に設置される「燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設」について、以下の問いに答えよ。なお、「燃料体等」は「通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料」をいう。

- (1) 燃料体等の取扱施設において満たす必要のある要件を述べよ。
- (2) 燃料体等の貯蔵施設において満たす必要のある要件を述べよ。
- (3) 使用済燃料の貯蔵施設（キャスクを除く）において満たす必要のある要件を述べよ。ただし、上記（2）で回答したものを除くものとする。
- (4) キャスクにおいて満たす必要のある要件を述べよ。ただし、上記（2）で回答したものを除くものとする。
- (5) 使用済燃料貯蔵槽及び燃料取扱場所において測定する必要のあるパラメータをそれぞれ述べよ。また、これらのパラメータの異常に対して、設計上要求される機能について述べよ。