

第 63 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3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) 核分裂計数管とガンマ線補償型電離箱
- (2) バスタブ曲線
- (3) 予防保全、時間基準保全、状態基準保全と事後保全
- (4) 安全文化
- (5) ATWS
- (6) 保護協調

第2問 遅発中性子を一群近似としたとき、原子炉の中性子密度 n の時間変化が以下の一点炉近似動特性方程式で示されるとする。

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{(\rho - \beta)}{\Lambda} \cdot n(t) + \lambda C(t) \quad (\text{i})$$

$$\frac{dC(t)}{dt} = \frac{\beta}{\Lambda} \cdot n(t) - \lambda C(t) \quad (\text{ii})$$

ρ : 反応度 Λ : 中性子世代時間 β : 平均遅発中性子割合

λ : 平均遅発中性子先行核壊変定数、 C : 平均遅発中性子先行核濃度

このとき、反応度は以下の式で表される。

$$\rho = \frac{\Lambda}{T} + \frac{\beta}{1 + \lambda T} \quad (\text{iii})$$

原子炉の反応度測定法に関する以下の問いに答えよ。

- (1) (iii) 式の T は時間の単位の変数であるが、何と呼ばれるか、名称を答えよ。
- (2) (i)、(ii) 式から (iii) 式を導出せよ。
- (3) (iii) 式に基づく反応度評価手法の測定原理を説明せよ。また、具体的な測定方法を説明せよ。
- (4) 大きな負の反応度が投入される場合、この方法は適用できない理由を述べよ。
- (5) ^{235}U の濃縮度が5%の燃料において、 T が100秒であった。投入されたドル単位の反応度 (ρ/β) はいくらか。

ただし、ウラン中の ^{235}U 以外は ^{238}U であるとし、全核分裂の内、 ^{235}U の核分裂が95% であるとする。遅発中性子割合は ^{235}U が0.7%、 ^{238}U が1.8%とする。 ^{235}U 、 ^{238}U の平均遅発中性子壊変定数はそれぞれ0.077(s⁻¹)、0.13(s⁻¹)とする。即発中性子による反応度への影響は無視してよい。

また、平均遅発中性子割合は ^{235}U と ^{238}U の核分裂の重み付き平均で求めよ。

第3問 軽水炉の反応度温度係数に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 軽水炉においてドップラー係数が負になる理由について説明せよ。
- (2) 軽水炉において減速材温度係数が負となる理由について2つ挙げよ。このとき、減速材である軽水は沸騰せず液体のままであるとする。
- (3) PWRでは、1次冷却水にホウ酸を加えることにより反応度の制御を行っている。このホウ酸が温度係数に与える影響について説明せよ。
- (4) PWRでは、反応度制御にホウ素を含む棒状のBP（バーナブルポイズン）を使用する場合がある。このBPのホウ素に関し、上記（3）のような1次冷却水にホウ酸を加える場合との比較において、温度係数に与える影響の違いを述べよ。この際、1次冷却水にホウ酸を加える場合との比較についても説明せよ。

第4問 熱中性子炉の毒作用に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 出力運転中の熱中性子炉について、FP（核分裂生成物）のうち中性子の吸収体としてふるまう ^{149}Sm の生成消滅過程の概略を示せ。
- (2) 原子炉が一定出力で長期間運転している場合を考える。原子炉の出力を1.2倍とした後に、平衡状態に達した場合に ^{149}Sm の吸収する反応度はどのようにになるか。
- (3) 一定出力で長期間運転していた原子炉がスクラムした場合を考える。原子炉停止後の ^{149}Sm の挙動（毒作用）について述べよ。また、出力運転時の出力の大小により停止後の ^{149}Sm の吸収する反応度はどのようにになるか。
- (4) 毒作用を示す核種としては他に ^{135}Xe が有名である。 ^{149}Sm の毒作用について、 ^{135}Xe との違いを原子炉運転時と原子炉停止後（スクラム後）について説明せよ。

第5問 安全機能の重要度分類に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 異常発生防止系 (PS)、異常影響緩和系 (MS) について説明せよ。
- (2) PS 及び MS のそれぞれに属する構築物、系統及び機器は、その有する安全機能の重要度に応じ、クラス1～クラス3 (PS-1～PS-3、MS-1～MS-3) に分類される。下記 A、B に相当する PS-1 及び MS-1 についての定義を示せ。また、C、D に相当する機能について、それぞれ2つ挙げよ。

表1 安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能

分類	定義	機能
PS-1	A	C
MS-1	1) B	D
	2) 安全上必須なその他の構築物、系統及び機器	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生 2) 安全上特に重要な関連機能

【出典】

- ・原子力安全委員会安全審査指針「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」第2表より一部を抜粋

- (3) 当該系と関連系について説明せよ。また、原子炉冷却材喪失 (LOCA) において、当該系を1つ及び関連系を2つ挙げよ。

第6問 発電用原子炉施設では、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故を想定し、当該事象の拡大を防止でき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) 運転時の異常な過渡変化時において、当該事象の拡大を防止するための判断基準を述べよ。また、下記の運転時の異常な過渡変化について、PWR又はBWRのどちらかを選び、当該判断基準を満たすための措置及び事象推移について説明せよ。

PWR：原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き

BWR：原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き

- (2) 設計基準事故時において、当該事象の拡大を防止するための判断基準を述べよ。また、下記の設計基準事故について、PWR又はBWRのどちらかを選び、当該判断基準を満たすための措置及び事象推移について説明せよ。

PWR：蒸気発生器伝熱管破損事故

BWR：主蒸気管破断事故