問題9-1

- 熱中性子炉において、温度係数が、①正の場合、②わずかに負の場合、③負の場合において、反応度が増加した時、出力がどのような挙動をとるかについて考察しなさい。

演習問題9－1 解答

①温度係数：正

反応度を増加させる
↓
出力が増加する
↓
温度が上昇する
↓
反応度が増加する
↓
出力が増加する
↓
温度が上昇する
↓
反応度が増加する

このサイクルを繰り返して
出力が無限に増加する

②温度係数：わずかに負

反応度を増加させる
↓
出力が増加する
↓
温度が上昇する
↓
反応度が減少する
↓
出力が減少する
↓
温度が降下する
↓
反応度が増加する

出力が緩やかに上昇していき
一定となる

③温度係数：負

反応度を増加させる
↓
出力が増加する
↓
温度が上昇する
↓
反応度が減少する
↓
出力が減少する
↓
温度が降下する
↓
反応度が減少する

出力がオーバーシュートした後一定となる

問題9-2

- 一点近似動特性方程式から、零出力伝達関数を導出しなさい。

演習問題9－2 解答 (1/4)

一点近似動特性方程式は

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{\delta\rho(t) - \beta}{\Lambda} \cdot n(t) + \lambda C(t) \qquad ①$$

$$\frac{dC(t)}{dt} = \frac{\beta}{\Lambda} \cdot n(t) - \lambda C(t) \qquad ②$$

である。①+②より、

$$\frac{dn(t)}{dt} + \frac{dC(t)}{dt} = \frac{\delta\rho(t)}{\Lambda} \cdot n(t)$$

$$\therefore \frac{dn(t)}{dt} = \frac{\delta\rho(t)}{\Lambda} \cdot n(t) - \frac{dC(t)}{dt} \qquad ③$$

となる。ここで中性子の密度n(t)ならびに先行核の濃度C(t)を

$$n(t) = n_0 + \delta n(t) \qquad C(t) = C_0 + \delta C(t) \qquad ④$$

とおく。これらの式で第一項は定常値（定数）を表し、第二項は変動値（時間の変数）を表す。

演習問題9－2 解答 (2/4)

式④を式③に代入する。

$$\frac{d(n_0+\delta n(t))}{dt}=\frac{\delta\rho(t)}{\Lambda}\cdot(n_0+\delta n(t))-\frac{d(C_0+\delta C(t))}{dt}$$

$$\therefore \frac{d(\delta n(t))}{dt}=\frac{\delta\rho(t)}{\Lambda}\cdot(n_0+\delta n(t))-\frac{d(\delta C(t))}{dt} \qquad ⑤$$

ここで $\delta\rho(t)$と$\delta n(t)$は微小な量であるとみなし、これらの積 $\delta\rho(t)\cdot\delta n(t)$ も微小であるとみなすことで無視することとする。よって式⑤は

$$\frac{d(\delta n(t))}{dt}=\frac{\delta\rho(t)}{\Lambda}\cdot n_0-\frac{d(\delta C(t))}{dt} \qquad ⑥$$

となる。同様に、式④を式②に代入する。

$$\frac{d(C_0+\delta C(t))}{dt}=\frac{\beta}{\Lambda}\cdot(n_0+\delta n(t))-\lambda(C_0+\delta C(t))$$

$$\therefore \frac{d(\delta C(t))}{dt}=\frac{\beta}{\Lambda}\cdot(n_0+\delta n(t))-\lambda(C_0+\delta C(t)) \qquad ⑦$$

演習問題9－2 解答 (3/4)

ここで定常状態を考える。時刻tにおいて定常な場合

$$\delta n(t) = 0 \qquad \delta C(t) = 0 \qquad \frac{d(\delta C(t))}{dt} = 0$$

である。これらの条件を式⑦に代入すると、

$$0 = \frac{\beta}{\Lambda} \cdot n_0 - \lambda C_0 \qquad ⑧$$

となる。式⑦、⑧より、

$$\frac{d(\delta C(t))}{dt} = \frac{\beta}{\Lambda} \cdot \delta n(t) - \lambda \delta C(t) \qquad ⑨$$

となる。式⑥、⑨を改めて書くと、

$$\frac{d(\delta n(t))}{dt} = \frac{\delta \rho(t)}{\Lambda} \cdot n_0 - \frac{d(\delta C(t))}{dt} \quad ⑥ \qquad \frac{d(\delta C(t))}{dt} = \frac{\beta}{\Lambda} \cdot \delta n(t) - \lambda \delta C(t) \quad ⑨$$

である。これらをL(dn(t))=N(s)、L(dC(t))=C(s)、L(dr(t))=R(s)
とおいてラプラス変換すると、

$$sN(s) - \delta n(0) = \frac{R(s)}{\Lambda} \cdot n_0 - (sC(s) - \delta C(0)), \qquad sC(s) - \delta C(0) = \frac{\beta}{\Lambda} \cdot N(s) - \lambda C(s)$$

演習問題9－2 解答 (4/4)

いま、$\delta n(0)=0$ 、 $\delta C(0)=0$ なので

$$sN(s)=\frac{R(s)}{\Lambda}\cdot n_0-sC(s) \quad ⑩ \qquad sC(s)=\frac{\beta}{\Lambda}\cdot N(s)-\lambda C(s) \quad ⑪$$

式⑪を変形すると、

$$C(s)=\frac{\beta}{\Lambda(s+\lambda)}\cdot N(s) \quad ⑫$$

これと式⑩より、

$$sN(s)=\frac{R(s)}{\Lambda}\cdot n_0-s\frac{\beta}{\Lambda(s+\lambda)}\cdot N(s)$$

$$s\left(1+\frac{\beta}{\Lambda(s+\lambda)}\right)\cdot N(s)=\frac{R(s)}{\Lambda}\cdot n_0$$

$$\cdot\frac{N(s)}{R(s)}=\frac{\frac{n_0}{\Lambda}}{s\left(1+\frac{\beta}{\Lambda(s+\lambda)}\right)}=\frac{n_0(s+\lambda)}{s\Lambda\left(s+\lambda+\frac{\beta}{\Lambda}\right)} \quad ⑬$$

これが零出力伝達関数である。

問題9-3

- 熱中性子炉において、一定出力で長時間運転後原子炉を停止した場合、キセノンによる妨害作用が、どのように変化するか説明しなさい。

演習問題９－３ 解答 (1/2)

原子炉を一定出力で長時間運転

↓

原子炉を停止

↓

^{235}Uの核分裂による^{135}Xeの生成は停止

↓

しかしながら燃料中には^{135}Iが残っている

↓

^{135}Iが崩壊して^{135}Xeを生成

↓

（^{135}I の崩壊時間）＜＜（^{135}Xe の崩壊時間）なので、^{135}Xeの濃度は急激に増加

↓

（最大反応度余裕を超える場合がある）

↓

演習問題９－３　解答 (2/2)

（^{135}Xeが中性子を捕獲してしまうため、原子炉を起動しても立ち上がらない状態となる：毒物効果）

↓

しばらくの間、ゆっくりと^{135}Xeが自分自身で崩壊する

↓

^{135}Xeの濃度は徐々に低下

↓

^{135}Xeはなくなる

↓

中性子を多く捕獲してしまう^{135}Xeがなくなり、原子炉が起動できる状態となる