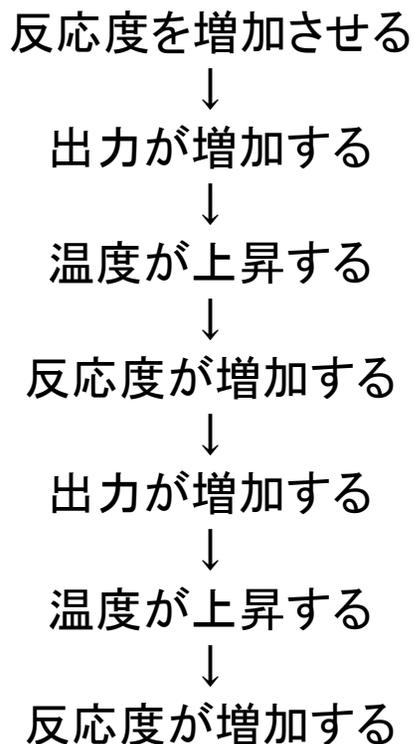


問題9-1

- 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。

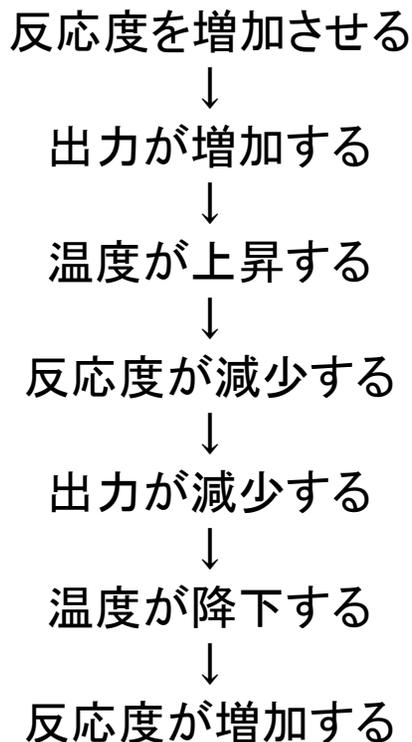
演習問題9-1 解答

①温度係数:正



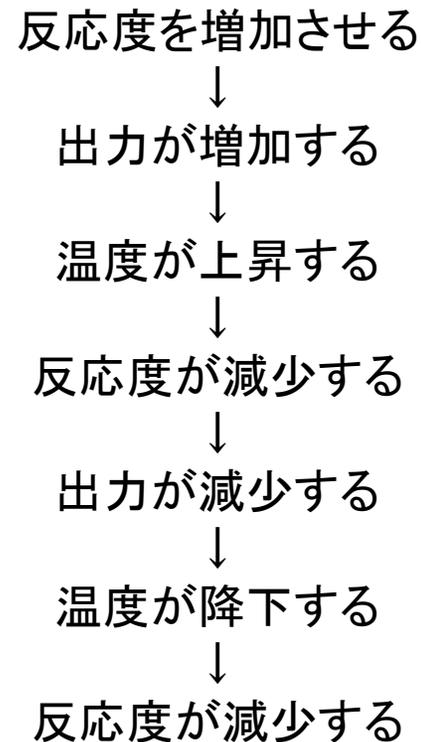
このサイクルを繰り返して
出力が無限に増加する

②温度係数:わずかに負

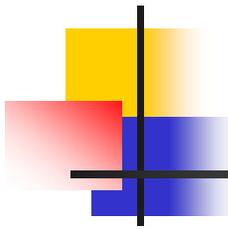


出力が緩やかに上昇していき
一定となる

③温度係数:負

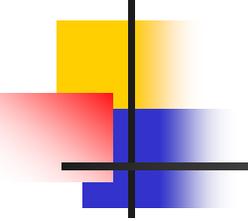


出力がオーバーシュート
した後一定となる



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

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

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

である。①+②より、

$$\begin{aligned} \frac{dn(t)}{dt} + \frac{dC(t)}{dt} &= \frac{\delta\rho(t)}{\Lambda} \cdot n(t) \\ \therefore \frac{dn(t)}{dt} &= \frac{\delta\rho(t)}{\Lambda} \cdot n(t) - \frac{dC(t)}{dt} \quad \textcircled{3} \end{aligned}$$

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

$$n(t) = n_0 + \delta n(t) \quad C(t) = C_0 + \delta C(t) \quad \textcircled{4}$$

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。

$$\begin{aligned}\frac{d(n_0 + \delta n(t))}{dt} &= \frac{\delta \rho(t)}{\Lambda} \cdot (n_0 + \delta n(t)) - \frac{d(C_0 + \delta C(t))}{dt} \\ \therefore \frac{d(\delta n(t))}{dt} &= \frac{\delta \rho(t)}{\Lambda} \cdot (n_0 + \delta n(t)) - \frac{d(\delta C(t))}{dt} \quad \text{⑤}\end{aligned}$$

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

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

となる。同様に、式④を式②に代入する。

$$\begin{aligned}\frac{d(C_0 + \delta C(t))}{dt} &= \frac{\beta}{\Lambda} \cdot (n_0 + \delta n(t)) - \lambda(C_0 + \delta C(t)) \\ \therefore \frac{d(\delta C(t))}{dt} &= \frac{\beta}{\Lambda} \cdot (n_0 + \delta n(t)) - \lambda(C_0 + \delta C(t)) \quad \text{⑦}\end{aligned}$$

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

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

である。これらの条件を式⑦に代入すると、

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

となる。式⑦、⑧より、

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

となる。式⑥、⑨を改めて書くと、

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

である。これらを $L(\delta n(t))=N(s)$ 、 $L(\delta C(t))=C(s)$ 、 $L(\delta r(t))=R(s)$

とにおいてラプラス変換すると、

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

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、

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

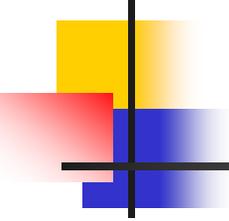
これと式(10)より、

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

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

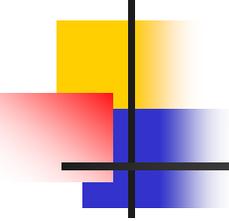
$$\frac{N(s)}{R(s)} = \frac{\frac{n_0}{\Lambda}}{s \left(1 + \frac{\beta}{\Lambda(s + \lambda)} \right)} = \frac{n_0(s + \lambda)}{s\Lambda \left(s + \lambda + \frac{\beta}{\Lambda} \right)} \quad (13)$$

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

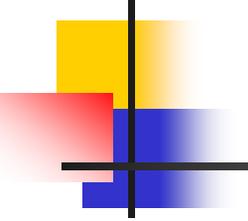


(^{135}I の崩壊時間) \ll (^{135}Xe の崩壊時間)なので、 ^{135}Xe の濃度は急激に増加



(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