

原子炉理論 第7回 (燃焼解析(2)燃料燃焼解析, 反応度制御, 反応度フィードバック)
講義ノート

東京工業大学 小原 徹

4.2 燃料燃焼解析

(1)燃焼方程式

原子炉運転中の燃料組成の変化

- 初装荷の核燃料物質の減少 (^{235}U , ^{239}Pu 等)
- 初装荷の親物質の減少 (^{238}U 等)
- 初装荷の可燃性毒物の減少 (B, Gd 等)
- 超ウラン元素の生成 (Pu, Cm, Am 等)
- 核分裂生成物 (FP) の生成 (Xe, Sm 等)

燃焼方程式の一般形

$$\frac{dN_A}{dt} = -\lambda_A N_A - \sigma_a^A \phi N_A + \lambda_B N_B + \sigma_A^C \phi N_C$$

B : A より原子番号が 1 小さい核種

C : A より質量数が 1 小さい核種

核種ごとの方程式を連立させて解く。

(2)燃焼計算の一般的な手順

(3)燃料の燃焼度

定義 : (炉心装荷中に燃料で発生したエネルギー) / (燃料の全質量)

単位 : MWd/t-U (Mega-Watt-days per Ton Uranium)

1g の核分裂性物質の核分裂は, ほぼ 1 MWd に相当する。

通常の動力炉の燃料燃焼度 $10^4 \sim 10^5$ MWd/t-U はウランの 1~10% の燃焼に等しい。

(軽水炉 30.000～40.000MWd/t・U=3～4%の燃焼)

5. 反応度制御

5.1 反応度制御の方法

① 制御棒 例 Cd, B, Hf(ハフニウム)

② 可燃性毒物 (バーナブルポイズン)

炉心寿命初期の過剰反応度を補償するため中性子吸収断面積の大きい物質 (毒物) を炉心に装荷する。 例 B, Gd(ガドリニウム)

③ 可溶性毒物 (ケミカルシム)

PWR では、ホウ酸を冷却材に溶解させて、反応度調整に用いる。

5.2 固有の反応度効果

● 温度係数 α_T

$$\alpha_T \equiv \frac{\partial \rho}{\partial T} = \frac{1}{k^2} \frac{\partial k}{\partial T} \cong \frac{1}{k} \frac{dk}{dT}$$

燃料の温度係数 α_T^F , 減速材の温度係数 α_T^M とすると,

$$\alpha_T = \frac{1}{k} \frac{\partial k}{\partial T_F} + \frac{1}{k} \frac{\partial k}{\partial T_M} = \alpha_T^F + \alpha_T^M$$

燃料の温度係数：共鳴吸収のドップラー効果

減速材の温度係数：熱中性子スペクトルのシフト

温度係数以外の固有の反応度効果の例

冷却材ボイド係数 (高速炉では正の場合があるので特に重要)

炉心膨張効果

(原子炉の動特性解析を行うには、個々の効果を評価し解析に取り入れる必要がある。)