

原子炉理論 第13回 (中性子スペクトル(4)非均質効果)
講義ノート

東京工業大学 小原 徹

9.5 有限希釈での共鳴吸収及び炉心非均質効果

(1)有限希釈での共鳴吸収

有限希釈の場合の共鳴を逃れる確率

共鳴吸収付近のエネルギー領域で中性子束がくぼむ： エネルギーしゃへい効果

共鳴吸収付近の中性子束を計算するための近似式

1. NR 近似 (Narrow Resonance 近似)
2. NRIM 近似 (Narrow Resonance Infinite Mass absorber 近似)
(または WR 近似 (Wide Resonance 近似))

ドップラー効果により共鳴を逃れる確率が変化する

理由：吸収体の温度が上り，ドップラー効果によって共鳴吸収の幅が大きくなる。

- ⇒ 中性子束のくぼみが小さくなる (エネルギー自己しゃへい効果が小さくなる)
- ⇒ 共鳴によって吸収される中性子がふえる
- ⇒ 共鳴を逃れる確率が小さくなる
- 燃料温度上昇による負の反応度効果

(2)炉心非均質効果

(a)非均質体系での共鳴を逃れる確率

燃料を非均質格子 (燃料と減速材を混合せずに分けて規則的に配置) にすると共鳴を逃れる確率を非常に大きくすることができる。

理由：減速途中で共鳴エネルギーまで減速された中性子が主に燃料要素の外側領域で吸収されるため

- ⇒ 空間自己しゃへい効果

(b)炉心の均質化による非均質格子の扱い方

原子炉の炉心は，単位セルがくり返される規則的あるいは周期的な格子からなっているとみることが出来る。

非均質効果を均質化して扱う場合の考え方

- ① 1つの単位セルに対し詳細な中性子束分布を求める計算をする。このとき，セルの外側

境界での中性子の正味の流れはゼロであるとする。

- ② セル内の物質の種々の多群断面積を，中性子束分布を重み関数としてセル全体にわたり空間的に平均化する。
- ③ セル内の不均一な中性子束分布を考慮した実効群定数によりセルを代表させる。
 $\Rightarrow$ 実際の単位セルを実効断面積によって表した等価な均質単位セルにおきかえたことに相当

(c)セル平均化による実効群定数計算の基本的な方法

セル平均化群定数

$$\langle \Sigma_g \rangle_{\text{cell}} \equiv \frac{\int_{E_g}^{E_{g-1}} dE \int_{V_{\text{cell}}} d^3r \Sigma(\mathbf{r}, E) \phi(\mathbf{r}, E)}{\int_{E_g}^{E_{g-1}} dE \int_{V_{\text{cell}}} d^3r \phi(\mathbf{r}, E)}$$

$\Sigma(\mathbf{r}, E)$ は，それぞれの領域で一定なので，

$$\langle \Sigma_g \rangle_{\text{cell}} = \frac{V_M \int_{E_g}^{E_{g-1}} dE \Sigma^M(E) \bar{\phi}_M(E) + V_F \int_{E_g}^{E_{g-1}} dE \Sigma^F(E) \bar{\phi}_F(E)}{V_M \int_{E_g}^{E_{g-1}} dE \bar{\phi}_M(E) + V_F \int_{E_g}^{E_{g-1}} dE \bar{\phi}_F(E)}$$

ここで，

$$\bar{\phi}_M(E) = \frac{1}{V_M} \int_{V_M} d^3r \phi(\mathbf{r}, E) \quad M : \text{減速材}$$

$$\bar{\phi}_F(E) = \frac{1}{V_F} \int_{V_F} d^3r \phi(\mathbf{r}, E) \quad F : \text{燃料}$$

ここで，

$$\phi(\mathbf{r}, E) = \phi(\mathbf{r}) \psi(E)$$

が成り立つとすると，

$$\begin{aligned} \langle \Sigma_g \rangle_{\text{cell}} &= \frac{V_M \Sigma_g^M \bar{\phi}_M + V_F \Sigma_g^F \bar{\phi}_F}{V_M \bar{\phi}_M + V_F \bar{\phi}_F} \\ &= \frac{\Sigma_g^F + \Sigma_g^M (V_M/V_F) \zeta}{1 + (V_M/V_F) \zeta} \end{aligned}$$

ここで，

$$\Sigma_g^F \equiv \frac{\int_{E_g}^{E_{g-1}} dE \Sigma^F(E) \psi(E)}{\int_{E_g}^{E_{g-1}} dE \psi(E)} \quad \text{等}$$

$$\bar{\Phi}_F \equiv \frac{1}{V_F} \int_{V_F} d^3r \phi(\mathbf{r}) \quad \text{等}$$

$$\zeta \equiv \frac{\bar{\Phi}_M}{\bar{\Phi}_F} \quad \text{セル不利係数}$$

- 自己しゃへい効果…燃料領域での中性子束のくぼみを表す。

$$f_s \equiv \frac{\bar{\Phi}_F}{\bar{\Phi}_{\text{hom}}}$$

ここで,

$\bar{\Phi}_{\text{hom}}$: 均質化されたセルでの平均中性子束

計算手順 (例)

- ① セル内を均質化して, 無限媒質中での中性子スペクトル $\psi(E)$ を求める。
- ② このスペクトルを用いてセル内の各領域の群定数 (Σ_g^F など) を求める。
- ③ 注目している群の平均エネルギーの 1 群計算でセル不利係数を求める。
- ④ 各領域の群定数 (Σ_g^F など) と ζ を用いてセル平均群定数 $\langle \Sigma_g \rangle_{\text{cell}}$ を求める。