

中性子輸送理論 第2回（増倍率と臨界性）
講義ノート

東京工業大学 小原 徹

2. 核分裂連鎖反応

2.1 核分裂

(1) 質量欠損と結合エネルギー

原子核の質量は、原子核を構成しているのと同じ数の陽子・中性子の合計の質量より常に小さい。(質量欠損)

この質量欠損に相当するエネルギーを結合エネルギーという。

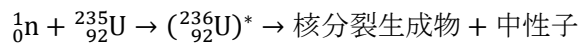
質量欠損と結合エネルギーの関係

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

2つの軽い原子核を融合したり（核融合）、重い原子核に核分裂を引き起こして中間的な重さの2つの原子核をつくることでエネルギーが解放される。

(2) 核分裂反応

- 中性子による核分裂反応の例



- 核分裂性核種： ${}^{235}\text{U}$ 、 ${}^{233}\text{U}$ 、 ${}^{239}\text{Pu}$ 、 ${}^{241}\text{Pu}$

- 親物質： ${}^{238}\text{U}$ 、 ${}^{232}\text{Th}$

(中性子を吸収して核分裂性核種を生成)

- 崩壊熱：核分裂生成物の放射性崩壊反応で放出されるエネルギー

- 核分裂で発生する中性子
 - 即発中性子：核分裂と同時に発生
 - 遅発中性子(1%以下)：核分裂生成物の崩壊により発生

- 1回の核分裂で放射される中性子の平均数 ν ： ${}^{235}\text{U}$ の場合約 2.4

- 平均核分裂中性子エネルギー：2MeV

(3) η 値

定義

 $\eta \equiv$ (1 個の中性子の吸収当りに発生する中性子の平均数)

燃料が単一の核分裂性核種からなる場合

$$\eta = \frac{\nu \sigma_f}{\sigma_a}$$

燃料が混合物からなる場合

$$\eta = \frac{\sum_j \nu_j \Sigma_f^j}{\sum_j \Sigma_a^j} \quad j: \text{核種を表わすインデックス}$$

2.2 増倍率と臨界性

(1) 増倍率

定義

$$k \equiv \text{増倍率} \equiv \frac{(\text{ある世代の中性子数})}{(\text{1 世代前の中性子数})}$$

 $k < 1$ 未臨界 $k = 1$ 臨界 $k > 1$ 超臨界

(2) 熱中性子炉の臨界

熱中性子炉：核分裂で発生した高いエネルギーの中性子を軽い原子核との散乱により低いエネルギーの中性子（熱中性子）として次の核分裂を起させる。（低いエネルギーの核分裂断面積が大きいので、核分裂連鎖反応を維持しやすい）

定義

熱中性子利用率 f ：体系内で吸収された熱中性子が特に燃料に吸収される割合

$$\text{高速核分裂係数 } \epsilon \equiv \frac{(\text{高速・熱中性子核分裂による}) \text{全核分裂中性子数}}{\text{熱中性子による核分裂中性子数}}$$

共鳴を逃れる確率 $p \equiv$ 吸収されることなしに核分裂エネルギーから熱エネルギーにまで減速していく中性子の割合

無限体系での増倍率（無限増倍率） k_{∞}

$$k_{\infty} = \frac{npf\eta\varepsilon}{\beta} = pf\eta\varepsilon \quad (\text{四因子公式})$$

有限体系での増倍率

$P_{\text{FNL}} \equiv$ 高速中性子がもれない確率

$P_{\text{TNL}} \equiv$ 熱中性子がもれない確率

$$k_{\text{eff}} = pf\eta\varepsilon P_{\text{FNL}} P_{\text{TNL}} \quad (\text{六因子公式})$$

k_{eff} : 実効増倍率