

原子炉理論第一 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。

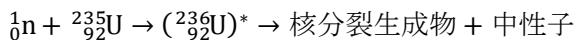
質量欠損と結合エネルギーの関係

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

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

$\left\{ \begin{array}{l} \text{即発中性子} : \text{核分裂と同時に発生} \\ \text{遅発中性子(1%以下)} : \text{核分裂生成物の崩壊により発生} \end{array} \right.$

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

$$\eta \equiv (1 \text{ 個の中性子の吸收当たりに発生する中性子の平均数})$$

燃料が単一の核分裂性核種からなる場合

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

燃料が混合物からなる場合

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

2.2 増倍率と臨界性

(1) 増倍率

定義

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

k<1 未臨界

k=1 臨界

k>1 超臨界

(2) 热中性子炉の臨界

热中性子炉：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（热中性子）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

热中性子利用率 f：体系内で吸収された热中性子が特に燃料に吸収される割合

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

共鳴を逃れる確率 p ≡ 吸収されることなしに核分裂エネルギーから热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_{∞}

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

有限体系での増倍率

P_{FNL} ≡ 高速中性子がもれない確率

P_{TNL} ≡ 熱中性子がもれない確率

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

k_{eff} : 実効増倍率