

演習問題4-1

- ^{235}U の η が2.07、天然ウランの η が1.34であるとき、3%濃縮ウランの η はいくらになるか。ただし、天然ウランの同位体存在割合を、 $^{235}\text{U} : ^{238}\text{U} = 0.7 : 99.3$ とする。

演習問題4-1解答 (1/2)

235Uと238Uを混合した場合は次式で表される

$$\eta = \eta(^{235}\text{U}) \frac{\Sigma_a(^{235}\text{U})}{\Sigma_a(^{235}\text{U}) + \Sigma_a(^{238}\text{U})} \quad \textcircled{2}$$

ここで、 $\Sigma_a(A) = N\sigma_a(A)$: 物質Aに対する中性子吸収マクロ断面積

$N(A)$: 物質Aに対する原子の個数

$\sigma_a(A)$: 物質Aに対する中性子吸収ミクロ断面積

である。天然ウランの場合について考えると、

天然ウランでは存在比は $^{235}\text{U} : ^{238}\text{U} = 0.3 : 99.7$ なので、式②

をこれを考慮した形に書き換えると、

$$1.34 = 2.07 \cdot \frac{0.7 \cdot N(^{235}\text{U} + ^{238}\text{U})\sigma_a(^{235}\text{U})}{0.7 \cdot N(^{235}\text{U} + ^{238}\text{U})\sigma_a(^{235}\text{U}) + 99.3 \cdot N(^{235}\text{U} + ^{238}\text{U})\sigma_a(^{238}\text{U})} \quad \textcircled{3}$$

これを变形して、

$$1.34 = 2.07 \cdot \frac{0.7}{0.7 + 99.3 \cdot \left(\frac{\sigma_a(^{238}\text{U})}{\sigma_a(^{235}\text{U})} \right)} \quad \textcircled{4}$$

演習問題4-1解答 (1/2)

よって

$$\frac{\sigma_a(^{238}\text{U})}{\sigma_a(^{235}\text{U})} = 3.84032 \times 10^{-3} \quad (5)$$

同様に3%濃縮ウランについても考えると、式③に対応する式は

$$\eta(^{3\%}\text{U}) = 2.07 \cdot \frac{3 \cdot N(^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}) \sigma_a(^{235}\text{U})}{3 \cdot N(^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}) \sigma_a(^{235}\text{U}) + 97 \cdot N(^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}) \sigma_a(^{238}\text{U})} \quad (6)$$

これを整理して、

$$\eta(^{3\%}\text{U}) = 2.07 \cdot \frac{3}{3 + 97 \cdot \frac{\sigma_a(^{238}\text{U})}{\sigma_a(^{235}\text{U})}} \quad (7)$$

式⑤を代入して

$$\eta(^{3\%}\text{U}) = 2.07 \cdot \frac{3}{3 + 97 \cdot 3.84032 \times 10^{-3}} = 1.84136 \quad (8)$$

演習問題4-2

- 3%濃縮ウラン核燃料1tonが、20000MWd/tの燃焼度に達すると、核燃料1ton当たり、何kgの濃縮ウラン ^{235}U が残存しているか。また、使用していない ^{235}U 燃料の割合は、元の ^{235}U 燃料に対して、何%になるか。
- ただし、 ^{238}U の燃焼は考慮しないものとする。

演習問題4-2 解答

3%濃縮のウラン燃料1[ton]には、30kgの²³⁵Uが含まれる。
これを全量核分裂させた場合、燃焼度は30,000[MW・d/ton]となる。
3%濃縮ウランの燃料m[ton]を用いて20,000[MW・d/ton]の燃焼度に
到達した場合に、残存する²³⁵Uは、比率計算より、

$$30 \times \left(1 - \frac{20000}{30000} \right) = 10 \text{ kg}$$

よって、使用していない²³⁵U燃料の割合は、

$$\frac{10}{30} \times 100 = 33.33\%$$

となる。

演習問題4-3

- 熱中性子炉において、以下の作用は核分裂反応を促進する方に働くか、それとも停止するほうに働くか。
 - (a) 炉心周りに中性子反射体をつける。
 - (b) 燃料の濃縮度を上げる
 - (c) 制御棒を挿入する
 - (d) 軽水減速炉でボイドが発生する

演習問題4-3 解答

(a)炉心周りに中性子反射体をつける。

炉心周りに反射体を設置することで、外に漏れ出る熱中性子を閉じ込める効果があり、炉心内での核分裂反応の発生確率を上げる。よって促進効果となる。

(b)燃料の濃縮度を上げる

燃料の濃縮度を上げることによって、熱中性子と燃料が出会う確率が大きくなり、炉心内での核分裂反応の発生確率を上げる。よって促進効果となる。

(c)制御棒を挿入する

制御棒は燃料より出た中性子を吸収する性能を持っている。よって熱中性子の数を減少させるので、炉心内での核分裂反応の発生確率を下げる。よって減衰効果となる。

(d)軽水減速炉でボイドが発生する

燃料周りに軽水を配置することで、高速中性子を熱中性子へと減速する効果をもたらす。しかしながら、ボイドができると中性子を減速させる効果が低下し、熱中性子を生成しにくくなり、炉心内での核分裂反応の発生確率を下げる。よって減衰効果となる。