

【0．講義の目的】

福島第一原子力発電所の事故を契機として、今後原子力発電をエネルギー政策上どのように位置づけるかが国民的議論となっている。国民が将来的にどのような選択をするにせよ、その議論の前提として、原子力発電に関する客観的で正確な知識と理解が必要となる。

【1．原子と原子核】

全ての物質は原子からなり、原子は原子核とその周りを取りまく電子からなる。さらに原子核は正の電荷を持つ陽子と電気的に中性な中性子からなる。陽子と中性子を総称して核子という。ある原子核の陽子数を Z、中性子数を N とすると、両者の和(核子の総数)  $A = Z + N$  を質量数という。

**原子と原子核**

核種記号	陽子数 Z	中性子数 N	陽子と中性子の総数 A	自然存在割合 [%]
ウラン-238	92	146	238	99.284%
ウラン-235	92	143	235	0.720%
ウラン-234	92	142	234	0.005%

- 原子は、中心にある原子核(陽子+中性子)とその周囲を回る電子から構成される。
- 原子核の中の陽子の数: 原子番号 Z
- 陽子と中性子の数の和: 質量数 A
- 中性子の数:  $N = A - Z$

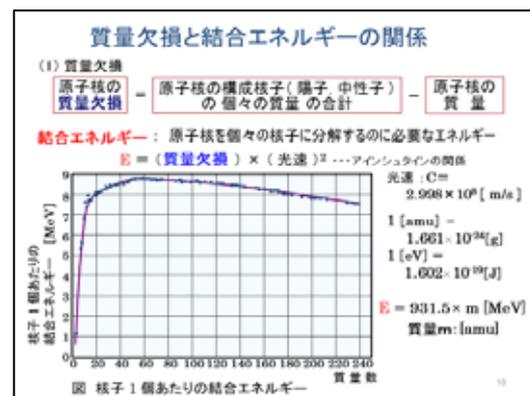
【2．質量欠損と結合エネルギー】

一般に、質量数 A、原子番号 Z の原子は、Z 個の陽子、Z 個の電子および (A - Z) 個の中性子からなるが、この原子の質量 M は、個々の粒子質量の総和 ( $Z \times m_p + (A - Z) \times m_n + Z \times m_e$ ) とはならず、それよりも小さくなる。この質量の差を**質量欠損**と呼ぶ。個々の粒子がばらばらで在るよりも原子核を構成した状態の方が安定でありエネルギーの低い状態にあるといえる。

質量欠損に相当するエネルギーは、原子核を構成する核子相互間の結合の程度を与えるものであり、これを**結合エネルギー**と呼ぶ。

【3．核分裂と核融合】

原子核の結合エネルギーを原子の質量数で割った「核子 1 個あたりの結合エネルギー」は、質量数の小さな原子核では質量数の増大とともに急激に大きくなり、質量数が約 60 程度で最大値をとり、以後、質量数の増大とともに緩やかに減少することがわかっている。これにより、たとえば質量数の小さな原子核が融合して、質量数の大きな原子核になる際には結合エネルギーの差に相当するエネルギーを外部に放出することになり、これは**核融合**と呼ばれる。一方、質量数の大きな原子核が質量数の小さい 2 つの原子核に分裂する場合にも、結合エネルギーの差に相当するエネルギーを外部に放出することになる。これは**核分裂**と呼ばれ、原子炉の内部で起きている核反応である。核融合、核分裂の別を問わず、「原子力エネルギー」とはすなわち原子核の結合エネルギーの差に相当するエネルギーが放出されたものにほかならない。

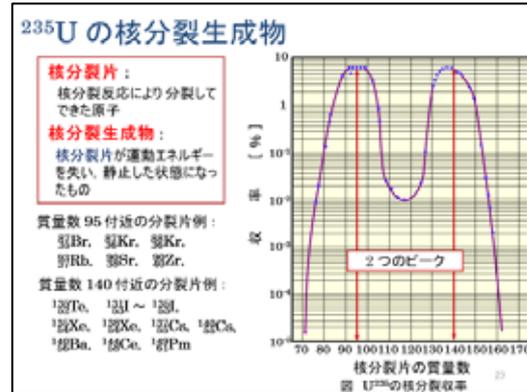


#### 【 4 . 核分裂の説明】

U-235 が核分裂する場合、中性子が一度U-235の原子核の中に入り込み複合核U-236をつくる。複合核としてできたU-236は通常よりも余分の内部エネルギーを持ち不安定な状態でおよそ $10^{-14}$ 秒間で壊変する。複合核の壊変には核分裂のほか捕獲、弾性散乱、非弾性散乱がある。

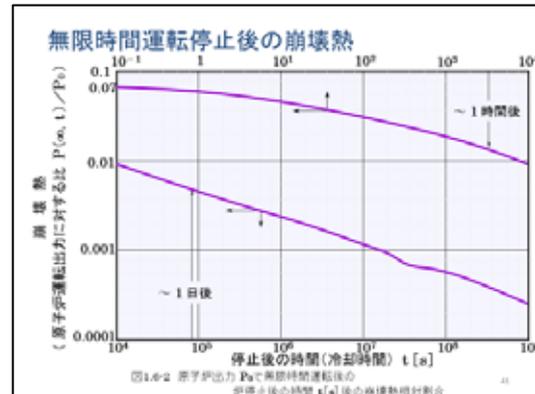
複合核は核分裂の際に2つに割れ、割れた後の原子核のことを**核分裂片**という。一般的に核分裂

による原子核の割れ方は非対称であり多様であるが、その割れ方には一定の確率がありこれを**核分裂収率**という。核分裂収率は核分裂核種や入射する中性子のエネルギーに依存するが、多くの場合、質量数が95付近と140付近にピークを持つ。



#### 【 5 . 崩壊熱】

核分裂片は一般に安定核より中性子が多い。そのため放射性核種であり、何回か壊変して安定核となる。核分裂片の放射性核種は百数十種類におよび、その半減期も数分の1秒から数百万年にもおよぶ。このため、原子炉は停止した後も、核分裂によって生じた生成物（核分裂片の集まり）の放射性壊変（崩壊）のために熱を発生し続ける。これを**崩壊熱**という。



#### 【 6 . 原子力発電のしくみ】

原子炉は、核燃料を装荷し燃料内で核分裂を起こさせ、その核分裂の連鎖反応を制御しつつ多量のエネルギーを発生させる装置である。原子炉の中に冷却材（軽水炉の場合は水）を通して熱を奪いその熱で得られる蒸気を蒸気タービンに供給して発電が行われる。蒸気タービン以降の設備は基本的に火力発電設備と変わらない。火力発電で用いられるボイラーでは燃料の供給量を調節することで出力を制御するが、原子力発電の場合には、原子炉に予め数年分の核燃料を装荷しておき、制御棒の出し入れ等により原子炉の起動、運転および停止を行う。

火力発電のボイラーでは、例えば発電を止めるような事故が起こった時、燃料の供給を止めれば即座にボイラーの燃焼を停止させることができる。燃料が燃焼し尽くせば、その後ボイラーの発熱はない。これに対し原子力発電の原子炉では、制御棒を入れて核分裂による発熱を停止させても炉心では燃料棒に蓄積した核分裂生成物（FP）の崩壊熱による発熱が続く。

#### 【 7 . 原子力発電の特徴】

長所：エネルギー密度が大きい、燃料供給・供給価格の安定性、発電過程で $\text{CO}_2$ を発生しない  
短所：大事故のリスク、放射線の影響、放射性廃棄物処分の問題、核セキュリティーの問題

< 出典：桑江ほか、「電力発生工学」、数理工学社、2012.8 >