

原子力の基礎と発電技術

Basis of Nuclear Power and Electric Power Generation

内山 洋司 (うちやま ようじ) 一般社団法人 日本エレクトロヒートセンター会長 (筑波大学名誉教授)

化学反応では物質の質量は保存される (正確には極めて僅かだが変化する) が、核反応は質量がエネルギーに変換するために質量は保存されない。核反応によって 1 グラムの質量をエネルギーに変換すると、その量は石油 2,150 トンの燃焼エネルギーに相当する膨大なエネルギーになる。核エネルギーを平和利用に活用できるようにすれば、人類はエネルギーの枯渇から解放される可能性がある。原子力発電は、核エネルギーを熱エネルギーに変換して発電する技術である。本稿ではウランの核変換について基礎的な理論を説明するとともに、そのエネルギーを利用して発電する原子力発電技術を紹介する。

1. 原子力の基礎

(1) 原子の構造

この世の中には空気、水、木、土、金属などさまざまな種類の物質がある。すべての物質は分子そして原子から構成されている。原子は物質を構成する基本粒子で、今日約 100 種類程度知られている。一番軽い原子が水素で、92 番目のウランは天然の中で最も重く、人工的に造られた 107 番目のウラニルセプチウムが最も重い原子である。原子は原子核と電子で構成されており、プラスの電荷を帯びた原子核のまわりをマイナスの電荷をもった電子が飛び回っている。原子の大きさ 10^{-8} [cm] に対して原子核は 10^{-12} [cm] と 1 万分の 1 の大きさである。

核分裂 (fission) は、重い原子核に外部から中性子などが衝突することで原子核が分裂する現象である。実用的な核分裂としてはウラン-233、ウラン-235、プルトニウム-239 による熱中性子の吸収による分裂がある。このうち天然に存在している原子はウラン-235 だけである。核分裂の際には大量のエネルギーと 2~3 個の中性子が放出される。

原子核は陽子と中性子によって構成されており、陽子はプラスの電荷をもっているが中性子には電荷がない。陽子の質量 m_p は、中性子の質量 m_n より少し軽い。どちらの質量も、陽子と中性子の数が等しい炭素 (^{12}C) の質量を 12.000000 とし、その 1/12 を 1 原子質量単位 (u) としてあらわしている。1 [u] は仮想的な粒子の質量である。

$$1[\text{u}] = 12[\text{g/mol}] / 6.022136 \times 10^{23} [\text{個/mol}] /$$

$$12 = 1.66054 \times 10^{-24} [\text{g/個}]$$

$$m_p = 1.007276 [\text{u}], m_n = 1.008665 [\text{u}]$$

原子核が Z 個の陽子と N 個の中性子からなっているとすると、原子核の質量は

$$Z \times m_p + N \times m_n \doteq Z + N [\text{u}] = A$$

となる。ここで、 A は質量数といい原子核の質量を近似的に整数値で表わしたものである。また、陽子の数である Z は原子核の電荷の数に等しいことから元素の原子番号を表わしている。元素の核種を記号で表わすには元素記号に質量数と原子番号を付けて示す。例えば、元素 M 、ウラン、炭素の表示は、それぞれ $^A_Z M$ 、 $^{235}_{92}\text{U}$ 、 $^{12}_6\text{C}$ となる。

陽子の数 Z と中性子の数 N は一致しておらず、重い元素ほど N が Z より大きくなる傾向にある。同じ元素でも Z が等しく A が異なるものを同位元素 (isotope) といい、 A が等しく Z が異なるものを同重元素 (isobar) という。例えば塩素は質量数が 35 と 37 の 2 種類の同位元素があり、自然界にはそれぞれが 75.4% と 24.6% の割合で存在している。塩素の原子量 A は両者の存在比の加重平均によって計算でき 35.45 となり整数値にはならない。

(2) 結合エネルギー

原子核は陽子と中性子とから構成されているが、その質量は構成する陽子と中性子の合計の質量よりわずかなではあるが軽くなっている。この軽くなった質量 Δm に相当するエネルギー B は、原子の結合エネルギーとなっている。言い換えると、原子核中の陽子と中性子を分離させるためには B 以上のエネルギーが必要になる。

$$B = \Delta m \times c^2 \quad c: \text{光速} (= 3.0 \times 10^8 [\text{m/s}]) \cdots \cdots (1)$$