

非核と科学No.11.

原発と原爆の同異(6)

原発の

原理(その2)

松山奉史

これまで、原発では核反応に低速 n (熱中性子)を用いること、この低速 n は高速 n が他の原子・分子との衝突(散乱)をくり返し

そのたびに減速することによって実現できることを述べました(本誌188号)。ここでいう原子・分子というのは厳密には原子の核、分子を構成している各原子の原子核という意味ですが、衝突による減速の原理は”相手原子核の質量が n の質量に近いほど、 n の運動エネルギーを相手核に多く渡すことができる”という物理法則です。例えば、 $U-235$ の核分裂で生じた高速 n が熱中性子(低速 n)にまで減速されるには、相手原子が水素(H)ならその原子核は陽子(p)1個ですから質

量は n とほぼ同じで20回の衝突で十分です。もし、相手核が酸素(O)、 $U-238$ なら、質量はそれぞれ n の16倍、238倍で、衝突回数は各々150回程度、2000回強となります。衝突回数が多いということはそれだけ熱中性子化に時間がかかるということも意味します。

今、原発の燃料部分が1個の大きな UO_2 焼結体の塊でできていると仮定します。 $U-235$ の濃縮度は3%ですから、 $U-235$ の存在は $U-238$ の大海原にちらほら疎らに浮かんでいるようなイメージになります。このような状況の下で $U-235$ が核分裂を起こしたとします。発生した n は高速の n ですが、この n を焼結体内で低速の n にまで減速し、引き続いて $U-235$ の核分裂につなげようとすると、焼結体内には減速のための衝突相手は $U-238$ と O のみで H は存在しませ

んから、時間のかかる多数回の衝突になってしまいます。すると、 $U-238$ の核的性質(本誌188号で述べた $U-238$ の核分裂や n の捕獲)が効いて、 $U-235$ の核分裂の続行が困難になってしまふのです。では、この困難を克服するにはどうすればよいかというと、第一に高速 n を焼結体内で減速することを回避し、第二に n を一旦焼結体外に出るように仕向けて外で別途減速し、第三に十分低速となった熱中性子を再び焼結体内に戻して $U-235$ に吸収させることができればいわけです。

それでは、実際の原発ではどうなっているかといえ、直ぐ上で述べた困難克服策がそのまま採用されていて、 UO_2 焼結体を多数の細長い燃料棒に加工して軽水中に設置しています。細く棒状にしているため燃料棒全体の表面積も1個の塊である場合と比べて格段に

大きくなり、 $U-235$ の核分裂で発生する高速 n の燃料棒外への脱出が容易になっていきます。脱出した n は(軽水分子中にある H の原子核と約20回の衝突を行い速やかに熱中性子になります。熱中性子となった n はその後も H と衝突しながら軽水中を拡散してゆき、いずれその大部分は炉心を構成している燃料棒内に到達し次の $U-235$ 核分裂に寄与します。ここまでの一連の過程で、高速 n の飛び出し時を起点として熱中性子になるまでの時間は約1マイクロ秒、この n が燃料棒内に戻り $U-235$ に吸収されるまでの時間(拡散時間という)は約0.2ミリ秒とされています。つまり、核分裂で飛び出した1個の n に注目すると、これが次の核分裂を起こすまで

にかかる時間は拡散時間の長さが律速となり、軽水炉の場合は約0.2秒ということになります。ここで一つ指摘しておきたいことは、高速 n が燃料棒の外に出るためには短時間(あるいは短距離)とはいえず、 $U-238$ の海の中を必ず通過し、燃料棒の長さ方向に進んだ場合にはより長時間 $U-238$ の海の中に滞在することになり、また、一旦軽水中に出た n でも十分低速になる前に再び燃料棒中に戻ることもあり得るということです。これらの現象があるということは、 n が $U-238$ と相互作用して $U-238$ の核分裂を引き起こしたり $U-238$ に捕獲される($U-239$ になる)確率がまだ残っている(完全にゼロにはできない)ことを意味します。

後者についていえば、 $U-239$ は崩壊で $Pu-239$ になり、この $Pu-239$ が溜まりだすとさらに n を吸収して $Pu-239$ の核分裂を起こしたり($Pu-239$ は核分裂性物質です)、 $Pu-240$ 、 241 も生成され得ることになります。新品の核燃料が炉心に装荷されると3、4年間燃やし続けま



玄海原発の原子炉
(撮影：北野雅博)

ば、 $U-239$ は

から、例えこれらの確率が小さいとしても蓄積された結果は相当大きなものになります。それを使用前の新品燃料と使用済燃料(発電後)に含まれる U に関連した重量成分比でみてみると、使用前には $U-235$ が3%、 $U-238$ が97%であったものが、使用後にはおよそ $U-235$ が1%、 $U-238$ が95%、 Pu が1%、核分裂生成成分が3%になっています。新たに生成されている Pu の起源は明らかに $U-238$ にあり(そのため $U-238$ は減少している)、 $U-235$ の減少分は2%なのに核分裂

