

高速増殖炉 ～ウランの有効利用～

ウランの核分裂と連鎖反応

天然のウラン(U)は重さの違うU-235とU-238の2種類があり、それぞれの割合は0.7%と99.3%です。U-235は中性子と衝突する際、中性子のエネルギーが低いほど、すなわち速度が遅いほど容易に核分裂します。しかし、U-238はU-235に比べてほとんど核分裂しないといいほど核分裂しにくいのです。

ウランが核分裂すると、2～3個の高いエネルギーの中性子を放出します。図1に示すようにこれらの中性子が別のウランに衝突し、次々に核分裂することを連鎖反応といいます。連鎖反応が持続し、ウランの核分裂が一定の割合で起る(臨界という)ようにした装置が原子炉です。

天然ウランだけでは原子炉にならない

天然ウランだけをいくら集めても連鎖反応を持続させられません。原子力発電所で使われている軽水炉といわれる原子炉では、U-235の核分裂を容易に起すために、核分裂で生じた中性子のエネルギーを1000万分の1程度まで下げています。中性子のエネルギーを下げる過程を減速、軽水(普通の水)のような媒質を減速材といいます。黒鉛や重水(重い水素の水)を減速材とした場合は、天然ウランでも臨界にできます。しかし、軽水の場合は中性子を無駄に吸収するため、

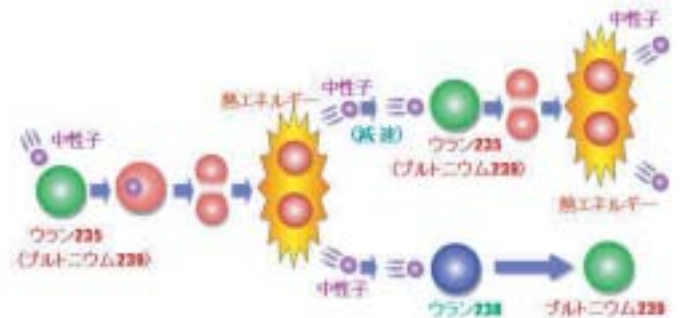


図1 連鎖反応とプルトニウムの生成

U-235の少ない天然ウランでは連鎖反応を持続できません。そのため、発電所で使われている軽水炉では、U-235を3～5%に濃縮して使用しています。

天然ウランに0.7%しか含まれていない

U-235の利用が前提

世界のエネルギー資源(1999年での確認埋蔵量)を今後何年で消費するかの評価結果によると、石油41年、天然ガス62年、石炭230年、ウラン64年です。現状のエネルギー資源の消費でも、石炭を除き今世紀中に資源が無くなってしまいます。ウラン資源が64年しかもたないという評価は、天然に0.7%しかないU-235の利用を前提にしています。U-238も燃料として若干エネルギーとなりますが、もっと有効に利用できないのでしょうか？

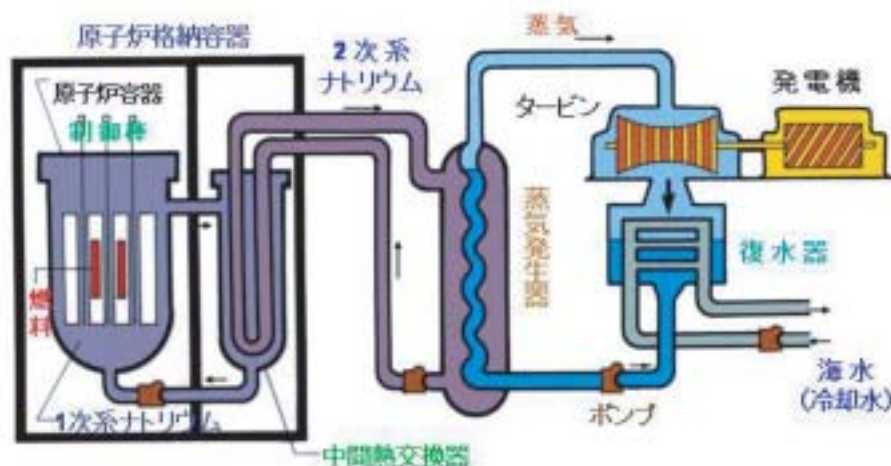


図2 高速増殖炉の概念図

高速増殖炉でウラン資源の有効利用

そこで登場するのが「高速増殖炉」です。原子炉の連鎖反応の中で、一部の中性子はU-238に吸収され、核変換を経て、核燃料となるプルトニウム-239 (Pu-239) になります (図1参照)。

実は中性子をあまり減速させなければ、効率よくPu-239を生成できます。図2に高速増殖炉の概念図を示します。軽水炉では減速材も熱を取出す冷却材も軽水ですが、高速増殖炉では減速材はなく冷却材は融点の低いナトリウムを液体で使用します。高速増殖炉での中性子の平均エネルギーは軽水炉に比べて約10万倍です。福井県敦賀市に建設された原型炉「もんじゅ」炉心の水平断面図を図3に示します。炉心にはプルトニウム (16~21%) と天然または劣化ウラン (濃縮の過程で生じるU-235の量が少ないウラン) を混合した燃料が、周辺部および炉心上下 (ブランケットと呼んでいます) には天然または劣化ウランが配置されています。燃料であるプルトニウムの割合が軽水炉に比べて多いのは、中性子のエネルギーが高い分核分裂を起しにくいからです。



図4 高速増殖炉の核燃料サイクル

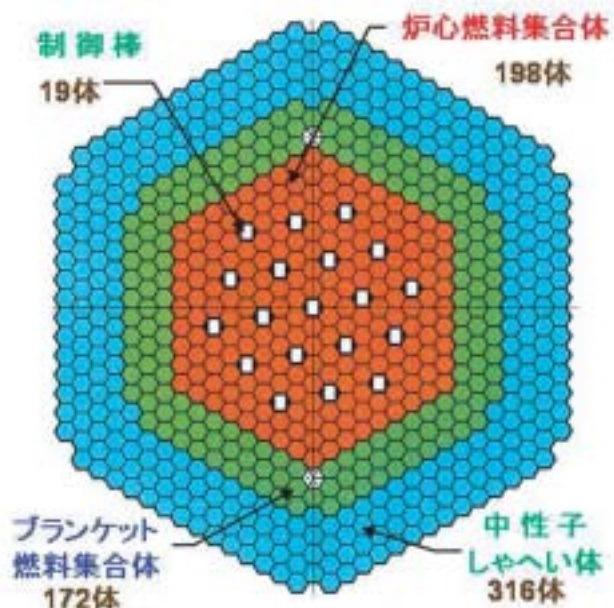


図3 高速増殖炉「もんじゅ」の炉心断面図

新たに生成する核燃料と消費する核燃料の比を転換比といいます。軽水炉ではこの転換比は約0.6ですが、高速増殖炉では約1.2となります。消費するよりも多い核燃料を生産、すなわち増殖できます。もう皆さんおわかりですね。中性子のエネルギーが高い、すなわちその速度が速くかつ燃料を増殖するので、このような原子炉を高速増殖炉といいます。軽水炉でも再処理によるプルトニウム計画で核燃料を2倍程度利用できますが、高速増殖炉ではほとんどすべてのウランを核燃料として利用できますので、60倍以上、すなわちウラン燃料を数百年にわたり利用できます。

高速増殖炉の核燃料サイクルの概念を図4に示します。限られた資源を有効利用し人類に役立てるため、原型炉である「もんじゅ」の経験を踏まえ出力および規模の大きな実証炉、ついで実用炉に向けて技術者は開発研究を行っています。

(前川 洋)

使用した図は核燃料サイクル開発機構の好意で提供していただきました。ここに謝意を表します。