

原子炉停止後の出力の時間変化：崩壊熱と遅発中性子

千葉豪

平成 26 年 12 月 20 日

「原子力発電所は運転を停止したからといってすぐに発熱が止まるわけではない」というのはよく知られた事実である。それは核分裂生成物（といくつかのアクチニド核種）の崩壊熱で説明されるわけだが、最近、ある論文 [1] を読んでいて、以下の記述に目が留まった。その部分を以下に引用する（3.1 節の第 2 段落）。「While short-term decay heat up to 200 s after shutdown is primarily identified with continued fission multiplication driven by delayed-neutron precursors, radionuclide decay becomes significant after ~ 100 s. Thus, beyond 200 s after shutdown, the α -, β - and γ -decay processes play a dominant role.」要は、原子炉停止後 100 秒くらいまでは遅発中性子先行核の減衰があるため、遅発中性子による核分裂（連鎖）反応の出力が支配的であり、いわゆる「崩壊熱」は炉停止後 200 秒くらいから支配的になる、ということと理解した。原子炉物理の講義で「原子炉を臨界から未臨界にしたからといってすぐに核分裂連鎖反応が止まるわけではありません、なぜならば遅発中性子先行核が存在するからです」とよく解説しているわりには、原子炉停止後のただら続く発熱を崩壊熱のみと考えてしまっていたのは修行が足りないなあ、と感じた次第である。

さて、それでは原子炉停止後の 100 秒くらいの間において、崩壊熱と遅発中性子による核分裂エネルギーのどちらが卓越しているのであろうか。簡単な数値計算で確認した。

- 崩壊熱の計算は BWR 集合体（STEP-3）を模擬した燃料ピンセルで行った。出力密度は 25.6[MW/tU]、燃焼度は 30[GWd/t] とした。
- 遅発中性子による核分裂エネルギーの計算は、遅発中性子先行核 6 群の動特性方程式を数値的に解くことにより行なった。遅発中性子に関するデータは U-235 熱中性子核分裂に対する Keepin の評価値を用いた。 β 、 l は KUCA の軽水減速架台の C35G0 炉心のものとした。

なお、遅発中性子による核分裂エネルギーの計算は、原子炉停止後の実効増倍率を 0.99 とした場合と 0.9 とした場合で行なった。結果を Fig. 1 に示す。炉停止後の実効増倍率を 0.99 とした場合は確かに 100 秒くらいまでは遅発中性子による核分裂のエネルギーが卓越しているが、実効増倍率を 0.9 とすると、炉停止直後の出力の減少幅（即発中性子による連鎖反応成分の減少幅）が大きく、炉停止直後から崩壊熱が卓越する、という結果が得られた。

今回、崩壊熱と遅発中性子による核分裂エネルギーのそれぞれについて計算したが、トータルとしての出力を計算したい場合には、これらの和をとればよいのだろうか？答えは「否」

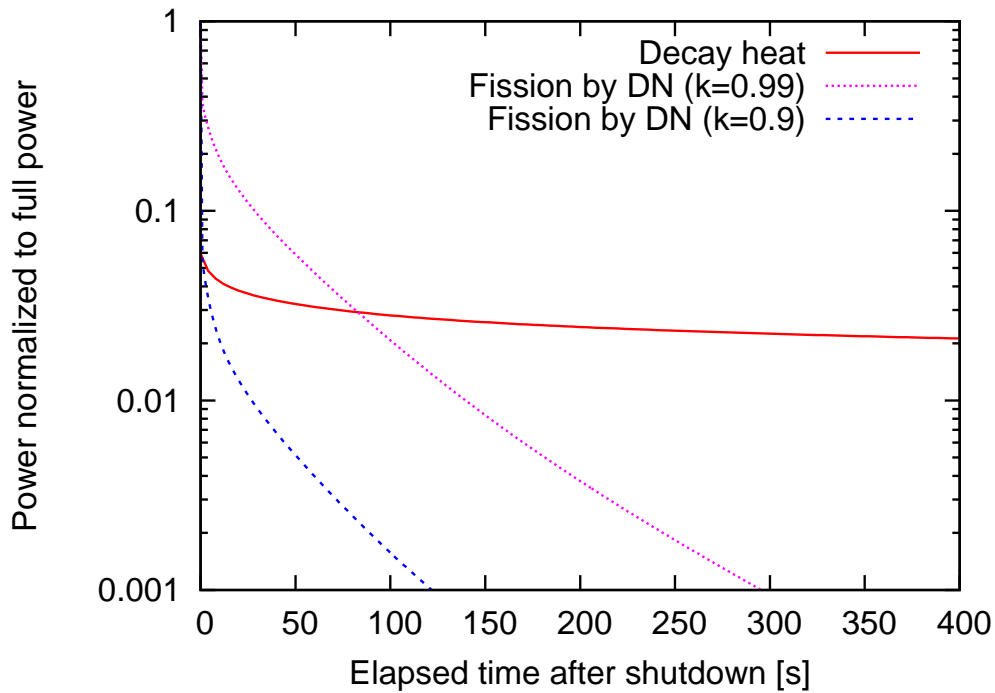


Fig. 1: Neutron capture cross section given in JENDL-4.0

である。遅発中性子による核分裂反応を考慮した場合、それにより発生する核分裂生成物の崩壊も考慮する必要があるからであり、全出力は2つの成分の単純和よりも大きくなる筈である。このような計算については、また次の機会に行なってみたいと思う。

参考文献

- [1] A.L. Nichols, 'Recommended decay data and evaluated databases - international perspectives,' *J. Nucl. Sci. Technol.*, (updated on the Website).