

使用済み燃料プールでの即発臨界は 事後の測定データから証明できるか

北海道大学
エネルギー環境システム専攻
原子炉工学研究室

千葉豪

平成 25 年 7 月 27 日

福島第一原発の 3 号機の原子炉建屋において 2011 年 3 月 14 日午前 11 時に発生した爆発について、それが使用済み燃料プールでの即発臨界に起因するものであったという指摘がある。本稿では、現在得られる種々の測定データから、燃料プールで即発臨界に至ったかどうかを証明できるか考える

まずは検討の前提として、即発臨界により発生するエネルギーについてまとめておく。

x [g] のウラン 235 が核分裂した場合に発生するエネルギー E [J] は、アボガドロ数を $N_A (=6.02 \times 10^{23})$ 、ウラン 235 の原子量を 235、核分裂あたりの発生エネルギーを 200 [MeV] ($=3.20 \times 10^{-11}$ [J]) とすると以下の式で与えられる。

$$E = \frac{x}{235} \times N_A \times (3.2 \times 10^{-11}) = (8.2 \times 10^{10}) \times x [J] \quad (1)$$

また、TNT 1 トンの爆発エネルギーは 4.18×10^9 [J] なので、 E を TNT 換算トンに直すと

$$E = \frac{8.2 \times 10^{10}}{4.18 \times 10^9} \times x = 19.6 \times x [t] \quad (2)$$

となる。広島に落とされた原子爆弾は TNT 換算で約 15000 [t] であり、 760 [g] 程度のウラン 235 が核分裂したことになる。

1 崩壊熱から

燃料プールで即発臨界が起きた場合、それにより生成された核分裂生成物の崩壊熱がプール水温の上昇に寄与する筈である。その寄与がどの程度であるか、計算により評価しよう。

瞬間的なウラン 235 の熱中性子核分裂を考え、それによって生成した核分裂生成物の崩壊熱を計算する。なお、この計算では 10 [g] のウラン 235 が核分裂したと考える。発生エネルギーは TNT 換算で 200 [t] 程度である。計算結果を、西原らが評価した 3 号機燃料プールの崩壊熱 (JAEA-Data/Code 2012-018) とともに、Fig. 1 に示す。これより、TNT 換算で 200 [t] 規模の即発臨界であっても、ある程度時間が経過した後の崩壊熱は使用済み燃料プールにおける崩壊熱と比べて無視できる程度であり、検知することは不可能であることが分かる。

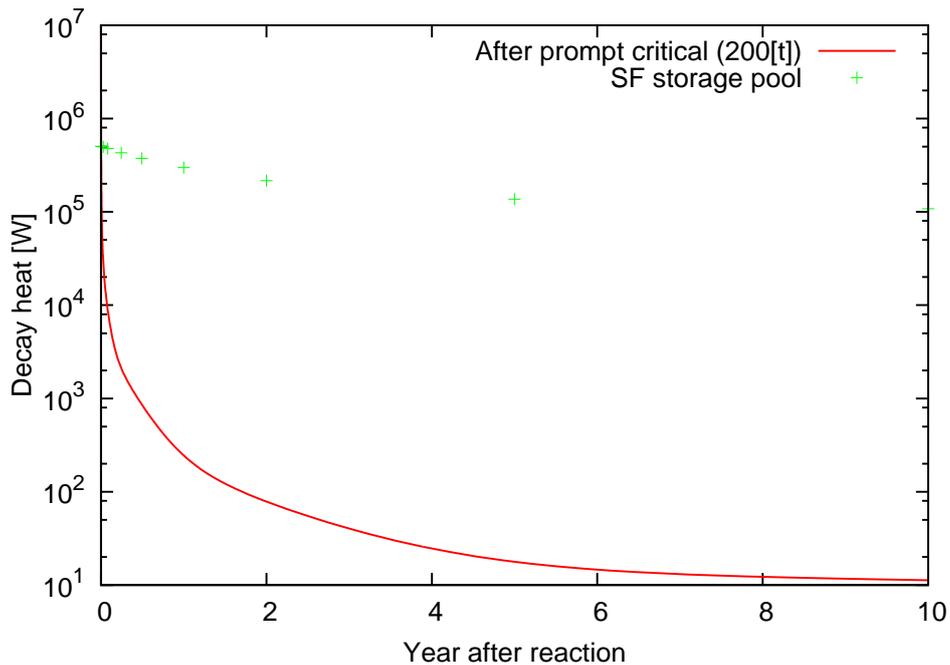


Fig. 1: Decay heat by fission burst and that in spent fuel storage pool in unit 3

2 セシウム 137 の放射能から

即発臨界で瞬間的に核分裂反応が起こった場合、生成される放射能は通常の原子炉の運転の結果得られるものとは幾分異なるため、その違いから即発臨界が起こったかどうかを判断することが出来るかもしれない。そこで、ここでは比較的長い半減期を有するセシウム 137 の放射能について整理する。

まずは 3 号機の燃料プールに貯蔵されている使用済燃料に内蔵するセシウム 137 の放射能の総量であるが、西原らの評価によると、2011 年 3 月で 3.87×10^{17} [Bq] であるとされている。

一方、即発臨界が起きた場合、10[g] のウラン 235 が核分裂したとすると、原子数に直すと 2.6×10^{22} 個が反応したことになる。ウラン 235 の核分裂あたりに発生するセシウム 137 の個数は 0.0616 であるので、セシウム 137 の全生成量は $(2.6 \times 10^{22}) \times 0.0616 = 1.6 \times 10^{21}$ 個となる。セシウム 137 の崩壊定数は 7.3×10^{-10} [1/s] なので、即発臨界直後のセシウム 137 の放射能総量は 1.2×10^{12} [Bq] となり、プールの燃料中に内蔵しているものと比較して格段に小さい。つまり、即発臨界が起こったとしても、ある程度時間が経過した場合は、生成された残る放射能はプールの燃料中にもともと内蔵されているものと比べて無視できる程度であり、検出不可能であることが分かる。