

原子炉内が崩壊熱のみによって加熱されている場合に 必要な水の投入量の推定

東北大学流体科学研究所 極限流研究部門極限熱流動研究分野
圓山・小宮研究室 2011/3/28 作成

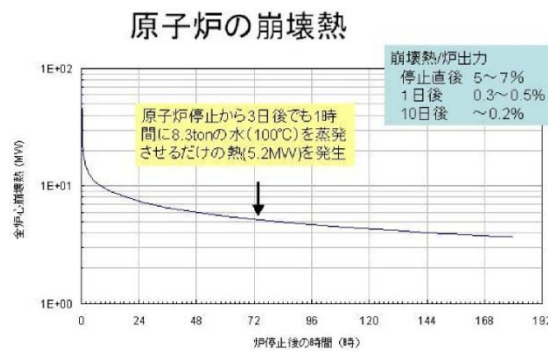


図1 平成23年3月18日 田中俊一氏の講演スライド[1]より抜粋

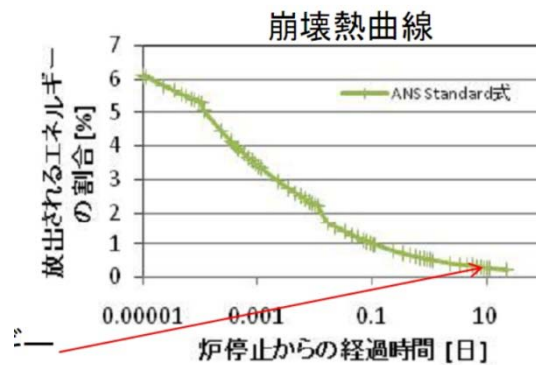


図2 平成23年3月18日 東海大学原子力工学科、エネルギー工学科発表資料[2]より抜粋

参考文献[3]に記述されている崩壊熱の近似式を示す。

$$\frac{P(t)}{P_0} = 0.066 \left[t^{-0.2} - (t_s + t)^{-0.2} \right] \quad (1)$$

ここで、 P は崩壊熱[W]、 P_0 は通常運転時の原子炉熱出力[W]、 t は原子炉停止からの経過時間[s]、 t_s は原子炉の起動から停止までの時間[s]（ここでは10年を仮定）である。図3より式(1)により崩壊熱を記述できていることが確認された。

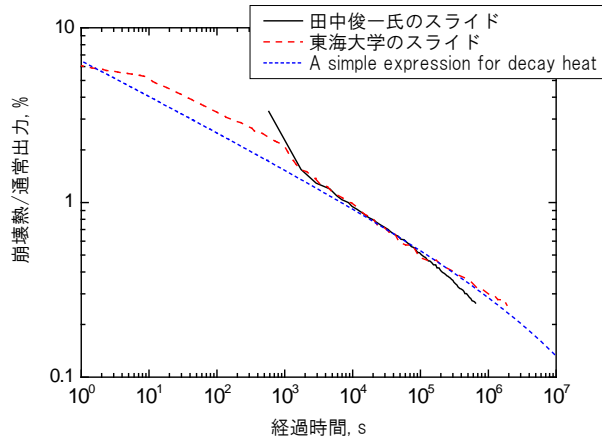


図3 上記2種類のデータおよび近似曲線[3]の比較

原発停止後の発熱が燃料棒の崩壊熱のみに起因すると仮定した場合、式(1)に対し、福島原発1号機および2号機の崩壊熱の時間変化を計算する。計算条件として、1号機の電気出力460MW、2号機の電気出力784MWを用いる。なお、熱出力は電気出力の3倍とした。

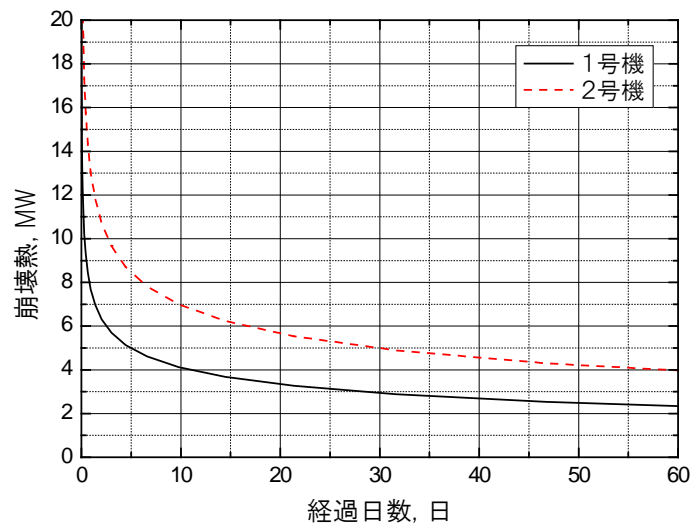


図4 崩壊熱の経時変化

この結果より3月28日時点での発熱量は1号機は3.4MW、2号機は6.0MWであることがわかる。停止24時間後は1号機8.0MW、2号機13.1MWであった。また、燃料棒の総表面積を1400m²として、燃料棒の表面熱流束を以下に示す。

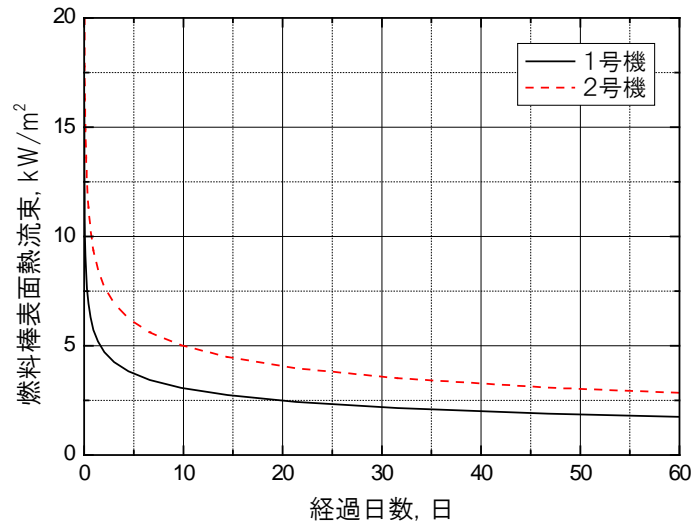


図5 燃料棒表面熱流束の経時変化

ここで、3 atm での水の蒸発潜熱 2.16 MJ/kg を用いて崩壊熱に相当する蒸発潜熱を有する水の質量を求める。水の顕熱は小さいので無視した。

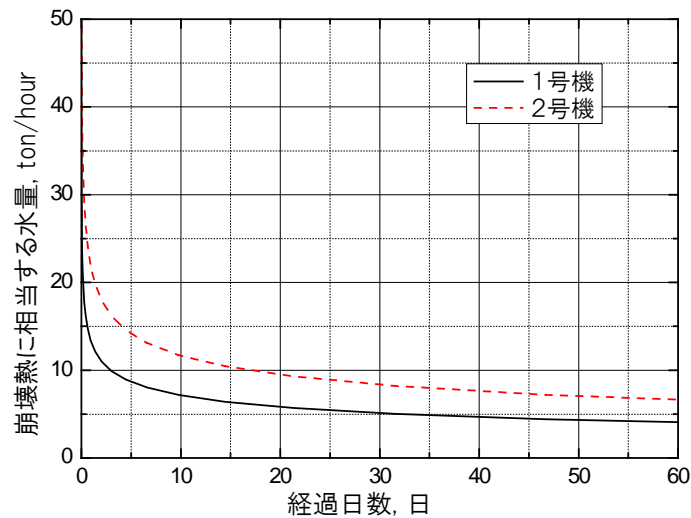


図6 崩壊熱に相当する水量の経時変化

図6より、3月28日時点で、当日分の崩壊熱を除去するには1号機に対し流量6 ton/h、2号機に対し流量10 ton/hの水が必要となる。さらに冷却効果を得るためにはこれ以上の流量が必要になる。もし、これ以上の水を投入して水面が上がらないのであれば、式(1)が正しくないか、崩壊熱以外の熱源（部分臨界）が存在することになる。なお、24時間後の必要水量は、13ton/hと22ton/hであった。

式(1)を積分することにより相崩壊熱量を見積もることができる。

$$Q(t) = \int_0^t P(\tau) d\tau = 0.0825P_0 \left[t^{0.8} + t_s^{0.8} - (t_s + t)^{0.8} \right] \quad (2)$$

図7は相崩壊熱の経時変化を表している。

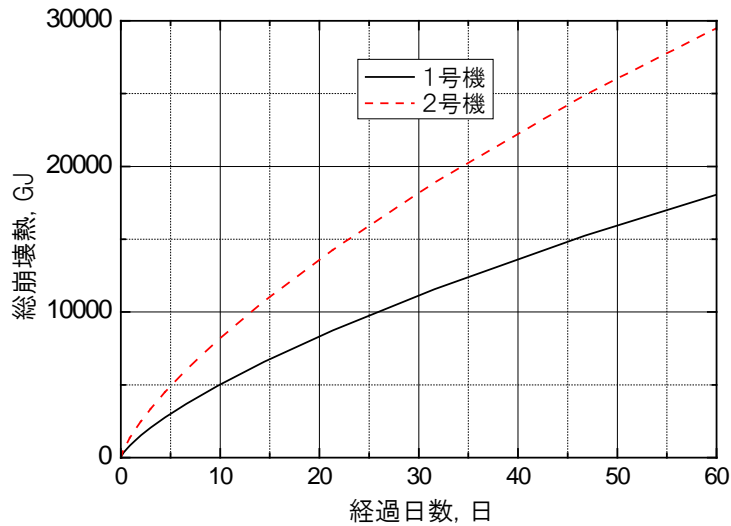


図7 総崩壊熱の経時変化

図7より3月28日時点で、これまでに1号機は7300GJ、2号機は12000GJ発熱したことになる。図8に総崩壊熱量に相当する蒸発潜熱を有する水の質量を示す。電源喪失後の水位の減少速度と図8を比較すると原子炉の崩壊熱の初期挙動が推定できる。なお、1時間後の冷却水蒸発量はそれぞれ28ton/h、45ton/hであった。予想よりも水面降下が早い場合は部分臨界が懸念される。

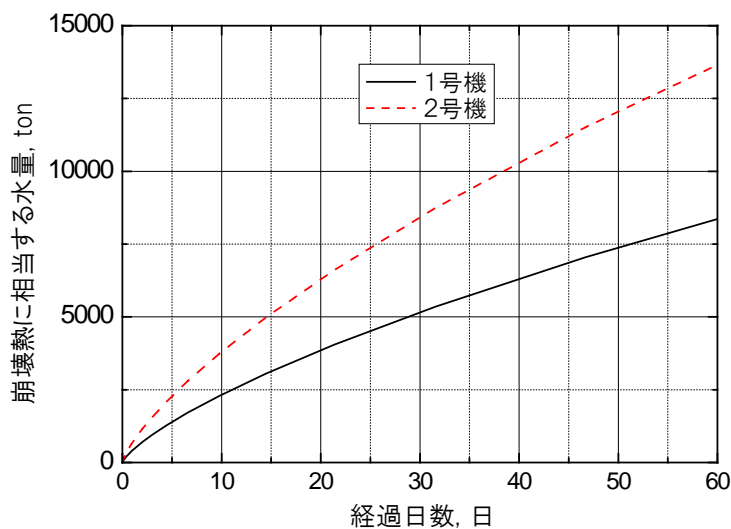


図8 総崩壊熱に相当する水の質量

図8より、これまでに1号機で3500ton、2号機で5600ton以上の水を投入していた場合、炉心に対する冷却効果は十分に表れていると考えることができる。逆に、この相当量の水を投入しても冷却効果が表れていないとすれば、発熱は崩壊熱によるものだけとは考えることができない。

- [1] 田中俊一, “福島原発の状況について”, 平成23年3月18日.
- [2] 東海大学 原子力工学科 エネルギー工学科, “東京電力福島原子力発電所の事故について”, 平成23年3月18日.
- [3] McMaster Nuclear Reactor, McMaster University, “Decay Heat Estimates for MNR”, Technical Report 1998-03 <http://www.nuceng.ca/papers/decayhe1b.pdf>