

福一 1号機の燃料露出時における輻射伝熱による温度変化 3次元簡易モデルによる繰返し PC 計算 (2)

Temperature Change due to Radiative Cooling under the Fuel Rod Exposure in Fuku-Ichi No.1 Reactor
Recursive Calculation of Temperature using a simplified 3-D Model (2)

* 米山 潔¹ (H.O.米山) 渡邊一男² (WNR-Cx 渡邊研究処)

福一 1号機の水素発生時期の推定には諸説があり、炉心を球殻とした3次元簡易モデルによる解析を試みた。燃料露出後35分で水素発生時の1500°Cに至り¹⁾、水素発生後6分で3000°Cの計算結果を得た。

キーワード: 輻射伝熱、福一原発1号炉、PC計算、ジルコニウム・水蒸気反応

1. 緒言

前回2020年春の大会では水素発生までの計算を報告¹⁾した。今回は同じ3次元簡易モデルを用い、以後のジルコニウム・水蒸気反応による反応熱を加えて温度変化を計算し、炉心熔融への過程を推測した。

2. 条件設定と計算結果

2-1. 条件設定:

前報¹⁾と同じく球殻モデルとし、崩壊熱を定常運転の1%と設定した。燃料棒の熱容量は酸化ウランのみとした。ジルコニウム・水蒸気反応による反応の総量は、水素発生量を150kgと仮定して計算した。ジルコニウムの厚さを0.7mmに設定した。なお、ジルコニウムの反応速度は、文献²⁾の表1.1.2を参考にした。

2-2. 計算方法と結果:

反応炉の燃料を半径2mの球体に近似し、半径方向に10分割の球殻を要素とした。燃料の熱容量は酸化ウランの比熱に重量を乗じたものである。輻射熱は次式で表せる。

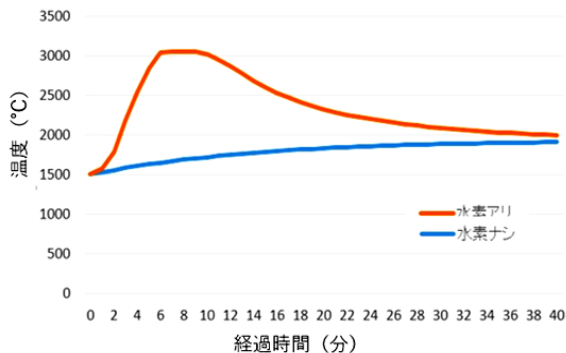


図1. 中心部1500°C到達以後の温度変化

$$q = \varepsilon E_q \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (1)$$

ただし、 q : 輻射熱、 ε : 輻射率、 E_q : 形状係数、 T : 温度、 σ : ボルツマン定数

要素 i の時間 j と $j+1$ の間の温度変化と熱移動 q は次式となる。 q_0 : は崩壊熱と反応熱の加算値。

$$c (T_{i,j+1} - T_{i,j}) = q_0 + q_{i-1} - q_{i+1} \quad (2)$$

ただし、 c は要素 i の熱容量。

計算時間間隔を1秒とした。崩壊熱を1%とした場合の水素反応有無の温度変化を図1に示す。

3. 考察

崩壊熱が1%の場合の図1は、中心部温度が燃料露出後35分に1500°Cとなってから6分後には3000°Cになり維持されるが、10分後には殆ど水素発生反応が収まり温度が低下する。30分後にはジルコニウムの水素発生反応が無い場合の温度に落ち着く。最高温度3000°Cが4分程度維持されるのは中心部の反応終了後にも周囲の反応熱で維持されたと考える。図にはないが最外部の温度は9分後に最高温度2300°Cであった。

中心部が3000°Cでは燃料も融ける温度であり形状保持は困難となり昇温部より崩れ落ちる。外側は中心部の崩壊で計算より低下するから文献²⁾にあるTMIの炉心スケッチのように短冊状に残ったとも考えられる。

なお崩壊熱が0.6%の場合は70分後に1500°Cになる。その後は10分以内に3000°C近くになる。計算条件で若干の変化があっても、いずれにせよ燃料露出から1時間半以内に炉心熔融が生じたと考えられる。

参考文献

- [1] 米山潔、堀江宥治他 福一 1号機の燃料露出時における輻射伝熱による温度変化 (1). 原子力学会 2020年春の年会
[2] 増補改訂版 炉心熔融・水素爆発はどう起こったか, 石川迪夫, 日本電気協会新聞部 (2018)

*Kiyoshi Yoneyama¹ (H.O. Yoneyama), Kazuo Watanabe² (Watanabe Lab. for WNR-Cx)