

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 (1)

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 (1)

* 米山 潔¹ (H.O.米山), 堀江宥治², 渡邊一男³ (WNR-Cx 渡邊研究処)

The No.1 reactor of Fuku-Ichi experienced a hydrogen gas explosion on 3/12/2011, resulting in a severe nuclear catastrophe. Hydrogen gas was produced from zirconium cover of the fuel rod by the reaction with water vapor. However, the time of gas production remains uncertain because of the absence of the progress of temperature on the reactor core. Authors set up a simple model approximating the fuel core by 10 consecutive spherical shells. A numerical analysis of radiative heat transfer under the condition of decay heat 1% indicated that the core temperature reached in 35 minutes 1500°C, which is high enough to trigger the reaction of zirconium and water vapor.

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

福一事故時の 1 号機での水素発生時期の推定に 11 日 21 時頃¹⁾が多いが、異なる有力な説²⁾があり、少なからぬ原子力関係者 OB の支持を受けている。同書には燃料露出後は輻射熱による影響が大きく燃料露出後も温度は 1,000°C には至らないとの主張である。そのために、ジルコニウム・水蒸気反応による水素発生が 12 日 4 時頃の消防注水まで遅延するとしている。ところが、裏付けとなる崩壊熱と輻射伝熱による温度推移の計算がないので簡易計算により状況解明を試みた。

2. 条件設定と計算結果

2-1. 条件設定:

簡易モデルを設定し PC により炉心部よりの崩壊熱と輻射伝熱による温度推移計算を実施した。モデルは炉心を球形に近似して 10 分割の球殻とし、これにより三次元問題を一次元問題と簡易化することができた。

2-2. 計算方法と結果:

反応炉の燃料を半径 2 m 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。

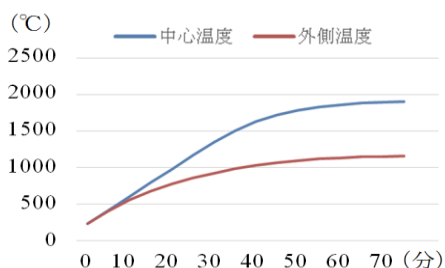


図 1. 中心部と外側温度の推移

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

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

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。

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

ただし、 c は要素 i の熱容量。

崩壊熱を 1% とした場合の中心部と外側の温度変化を図 1 に示す。

中心部温度は 35 分後に 1,500°C、1 時間後に 1,863°C となって 1,928°C に収斂する。最も外側では 1 時間後に 1,134°C になり 1,168°C に収斂する。

3. 考察

簡易モデルによる PC 繰返し計算の結果、崩壊熱 1% で 35 分後に 1,500°C に至り、ジルコニウム・水蒸気反応による水素発生が始まる。簡易計算の精度は当然に低い。的確な炉心状況モデルによるシミュレーション計算が必要と考える。本研究がより厳密な水素爆発問題の検討を促進するために役立つことを願っている。

参考文献

- [1] 福島第一原子力発電事故・その全貌と明日に向けた提言, 日本原子力学会, 丸善出版 (2014)
- [2] 増補改訂版 炉心溶融・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), Yuji Horie², Kazuo Watanabe³ (WNR-Cx Watanabe Lab.)