

2次元解析による MA 含有 MOX 燃料の組織変化に係る照射中ポア移動挙動評価

Evaluation of pore migration behavior during irradiation to affect the MA-bearing MOX fuel restructuring by 2-dimensional analyses

*小澤 隆之¹, 廣岡 瞬¹, 加藤 正人¹, Filippo Verdolin², Stephen Novascone²

¹日本原子力研究開発機構, ²アイダホ国立研究所

米国 INL と共同で、MOX 燃料挙動評価に適用可能な 3 次元解析コード BISON-MOX を開発している。本稿では、MOX 燃料の熱伝導度とともに蒸気種毎の蒸気圧に基づくポア移動モデルを適用し、常陽での MA 含有 MOX 燃料の照射試験で得られた燃料組織変化の O/M 依存性を 2 次元で解析評価した。

キーワード : MA 含有 MOX 燃料, 照射挙動, 2 次元解析

1. 緒言

MA 含有 MOX 燃料の照射挙動には MA 含有率の他、Pu 富化度や O/M 比等の燃料組成が大きな影響を及ぼす。照射初期の燃料挙動のうち燃料組織変化に係る照射中のポア移動の O/M 依存性を表現するため、米国 INL と共同で開発している BISON-MOX に MOX 燃料の熱伝導度とともに蒸気種毎の蒸気圧に基づくポア移動モデルを適用し、常陽の照射試験で得られた燃料組織変化の O/M 依存性を解析評価した。

2. 解析モデル・体系

燃料温度分布とポア移動に関するエネルギー保存と質量保存の偏微分方程式を解く際、気孔率 p 、温度 T 、化学量論比からの偏差 $x(=2.0-O/M)$ 、Am 含有率及び Np 含有率から求まる MOX 燃料熱伝導度[1]を用いた。

$$\lambda = \frac{1-p}{1+p/2} \cdot \left(\frac{1}{g(x, Am, Np, T)} + \frac{C}{T^{2.5}} \exp\left(-\frac{D}{T}\right) \right)$$

また、ポアの移動速度 $\vec{v}$ は、蒸気圧 P 、燃料分子体積 Ω 及び燃料蒸気拡散係数 D_{12} から次式で計算した。

$$\vec{v} = \Omega \cdot D_{12} \frac{d}{dT} \left(\frac{P}{kT} \right) \cdot \nabla T$$

ここで、蒸気圧 P は MOX 燃料に含まれる蒸気種(UO_2 , PuO_2 , UO , UO_3 , PuO , Pu , AmO_2 , Am , AmO , O_2)毎の蒸気圧と燃料組成から Rand-Markin モデル[2]で計算した。解析体系は断面金相との比較を容易にするため、 $1/2r-\theta$ 体系とした。

3. 解析結果

BISON-MOX で計算した径方向気孔率分布と断面金相写真の代表的な比較例とともに、気孔率が 0.5 となる径方向位置を中心空孔外周部直径とした計算結果と中心空孔径実測値の比較を右図に示す。常陽で照射した MA 含有 MOX 燃料の PIE では O/M 比が 2.00 で顕著な燃料組織変化が観察されたが、ポア移動速度に O/M 比の違いによる蒸気圧の変化を考慮することで、照射中におけるポア移動挙動に及ぼす O/M 比の影響を解析できるようになり、燃料組織変化の O/M 依存性が評価された。また、中心空孔の偏心が観察された金相断面の 2 次元解析結果から、PIE での試料調整中に偏りが生じた可能性があることがわかった。

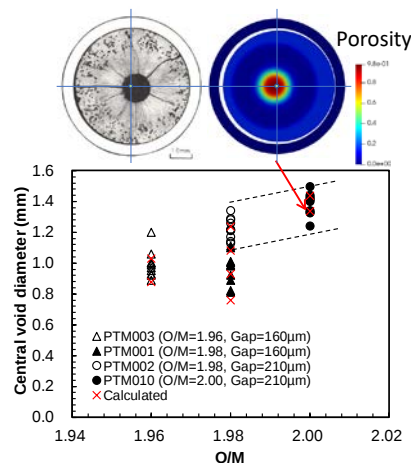


図 中心空孔実測値の O/M 依存性と 2 次元解析結果

3. 結論

MOX 燃料挙動評価に適用可能な 3 次元解析コード BISON-MOX を用いた 2 次元 $1/2r-\theta$ 体系での解析結果から、燃料組織変化の O/M 依存性を再現可能であることが示された。また、金相で観察された中心空孔の偏心は照射中に生じたものではないことがわかった。

参考文献

- [1] M. Kato, K. Maeda, T. Ozawa et al., "Physical Properties and Irradiation Behavior Analysis of Np- and Am-Bearing MOX Fuels," *J. Nucl. Sci. Technol.*, 48, pp. 646-653 (2011).
- [2] Y. Ikusawa, T. Ozawa and S. Hirooka et al., "Development And Verification of Thermal Behavior Analysis Code for MA Containing MOX Fuels," *Proc. ICONE22, Prague, Czech Republic, July 7-11, 2014* (CD).

Takayuki Ozawa¹, Shun Hirooka¹, Masato Kato¹, Filippo Verdolin² and Stephen Novascone²

¹Japan Atomic Energy Agency, ²Idaho National Lab.