

プルトニウム燃焼高温ガス炉を実現するセキュリティ強化型安全燃料開発

(18) 燃料設計及び炉心設計

Development of Security and Safety Fuel for Pu-burner HTGR

(18) Fuel design and core design

*後藤 実¹, 稲葉 良知¹, 植田 祥平¹, 相原 純¹, 深谷 裕司¹, 橘 幸男¹, 岡本 孝司²

¹原子力機構, ²東京大学

核分裂反応に伴い PuO₂-YSZ 燃料核から放出される遊離酸素量を計算し、内圧を抑制するために酸素ゲッターとして直接被覆する ZrC 層の厚さを調べた。また、減圧事故時の燃料温度を低くするために、昨年度までに検討した Pu 燃焼高温ガス炉の炉心に比べて径方向の燃料領域幅を小さくした場合の核熱成立性を検討した。

キーワード：高温ガス炉、プルトニウム、燃料設計、炉心設計

1. 緒言

プルトニウム (Pu) 燃焼高温ガス炉[1]では高燃焼度による核分裂性 Pu の削減を図る。本研究では、高燃焼度における被覆燃料粒子の内圧破損を抑制するために、核分裂に伴い燃料核から放出される遊離酸素 (O) のゲッターとして炭化ジルコニウム (ZrC) を燃料核に直接被覆する燃料設計を行う。また、高燃焼度を達成するために、燃料シャッフリングを導入する炉心設計を行う。本年度は、ZrC 層の厚さ及び炉心の核熱成立性について検討した。

2. 計算方法

燃焼度及び燃料核の重金属量から燃料核あたりの核分裂回数を計算した。これに燃料核からの O 原子放出率 0.85 個/fission [2]を掛けた値を燃料核から放出される O の原子個数とし、ZrC と O が過不足なく反応するとして ZrC 層の厚さを計算した。

昨年度の解析評価において、減圧事故時に燃料温度が制限値を超えることが示唆された[3]。そこで、減圧事故時に燃料温度が制限値を超えないように、昨年度に比べて炉心の燃料領域を径方向に狭くした (図 1)。燃料シャッフリングの方法は軸方向サンドウィッチシャッフリング (330 日×2 バッチ) とし、炉心燃焼計算を行って平衡炉心の炉停止余裕及び反応度温度係数を算出するとともに燃料領域別に燃料温度を計算して核熱成立性を検討した。

3. 結果

目標とする 500~600 GWd/t の燃焼度で燃料核から放出される O 原子の全てを捕獲するために必要な ZrC 層の厚さは 3~8 μm である (図 2)。

3 バッチ目炉心と 4 バッチ目炉心の過剰反応度の値がほぼ同じであることから、4 バッチ目炉心を平衡炉心と定義した。平衡炉心の反応度温度係数は燃焼期間を通して負の値を維持できるが、炉停止余裕を確保するためには可燃性毒物 (BP) ペレットの径を大きくするなどして燃焼初期の反応度を 1.4%Δk/k 下げる必要がある。燃料中期から末期にかけての通常時の燃料温度は、燃料の健全性確保の目安である 1400℃以下だが、燃焼初期から中期にかけては 1400℃以上であり、BP ペレットの径を調整するなどして出力分布を最適化し、燃料温度を下げる必要がある。

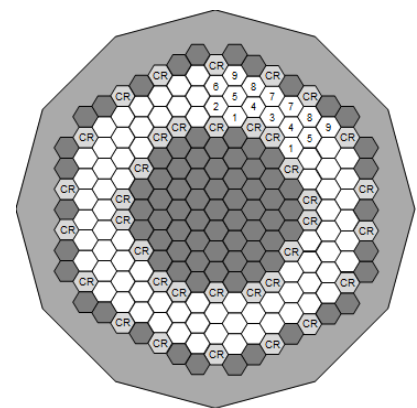


図 1 炉心断面図 (数値は燃料領域番号を表し炉心中央からの距離が異なる)

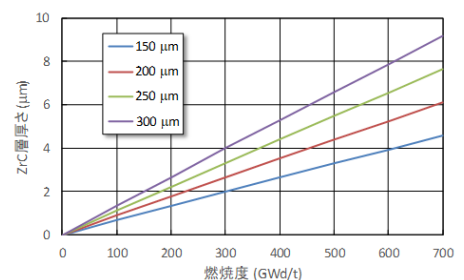


図 2 ZrC 層厚さの計算結果

参考文献

- [1] Y. Fukaya, et al., J. Nucl. Sci. Technol., 51(6), 2014. [2] 相原純 他, JAEA-Data/Code 2012-030 (2013).
[3] 中野正明 他, 2016 年秋の大会, 2105.

本研究は、文部科学省原子力システム研究開発事業により実施された「プルトニウム燃焼高温ガス炉を実現するセキュリティ強化型安全燃料開発」の成果である。

*M. Goto¹, S. Ueta¹, Y. Inaba¹, J. Aihara¹, Y. Fukaya¹, Y. Tachibana¹ and K. Okamoto²

¹Japan Atomic Energy Agency, ²The University of Tokyo