6-1 燃料に蓄積される核分裂生成ガス量を高精度で評価する – FPガスバブル成長と蓄積ガス量を予測する速度論モデルの開発



図 6-3 ペレットの中央部と周辺部におけるガスバブルの成長 (半径の増加)

燃料ペレット内のガスバブルの照射に伴う成長を示します。 ペレット中心部は周辺部より温度が高く、バブルの成長は 速くなります。

軽水炉の高燃焼度燃料のペレット内には、核分裂によっ て生成した核分裂生成ガス(FPガス原子)が長期間の照 射によって多量に蓄積されています。このガス原子は、 ペレット内に気泡(ガスバブル)として蓄積してペレッ トの膨張を引き起こしたり、ペレット外への放出によって 燃料棒内の圧力を高めて被覆管を押し広げたりする原因 となり、燃料の健全性に影響する可能性があります。

したがって、高燃焼度燃料の安全性評価においては、 バブルの成長やガス蓄積量を正確に予測評価すること が重要です。このためにバブルの成長をより精度良く 評価する新モデルを考案し、燃料ふるまい解析コード FEMAXI-7を用いた評価手法を開発しました。ガスバ ブルは、運転中に生成したFPガス原子の流入によって、 ガス圧力が周囲の結晶組織の抵抗を上回ることにより成 長し、ガス蓄積量は増加します。しかし従来のモデルで は、バブルの成長はガス圧と抵抗力とが常に平衡すると 仮定していたため、バブル成長やガス蓄積量が正確に評 価できませんでした。そこで本研究では、バブル内圧が 高まり周囲の組織を押し広げていく過程としてバブルの 成長をモデル化しました。次に、高燃焼度燃料を対象に 実際に計算を行い、バブル成長とガス蓄積量を計算しま



図 6-4 FPガス原子生成量とガス蓄積量のペレット半径方向 分布

ペレットの半径方向の FP ガスの生成量・蓄積量を示します。 --線と--線が計算値であり、これらに囲まれた部分がガス蓄積 量(一部は放出された)です。ペレット内に保持された(ガス バブル以外の)ガス原子の濃度は、--線及び(EPMA 実測値 (相対値))で示されます。

した。図 6-3 には燃焼に伴うバブル成長(半径増加)を 示します。半径が 0.5 μm に達するとガス放出が起き、 成長は止まります。また燃料の出力が下がっても成長速 度は低下します。

こうした経過を経た燃料の最終的なガス蓄積量について、図 6-4 に計算値と電子線マイクロアナライザ (EPMA)での実測値との比較を示します。一線と●はペレットの結晶粒内に保持されたガス原子の量で、一線は ●の分布に近い傾向を示しています。また、一線と一線の間にある面積がバブルに蓄積されたガス量に相当し、 全生成量の約 18% と計算されました。

一方、この燃料を用いた原子炉安全性研究炉(NSRR) での反応度事故模擬実験では、ガス放出量が生成量の 約22%であり、モデルは満足すべき予測性を示しました。

他の同様の燃料を用いた実験結果は、ガス放出源は粒 界に存在するバブルが主であることを示していますが、 計算値と実測値が近いことは、この結果を裏付けていま す。今回開発したモデルにより、燃料の健全性に影響す る要因のひとつとしての FPガスバブルの成長とガス蓄 積量のより正確な評価が可能となりました。

●参考文献

Suzuki, M. et al., Model Development and Verifications for Fission Gas Inventory and Release from High Burnup PWR Fuel during Simulated Reactivity-Initiated Accident Experiment at NSRR, Proceedings of Topical Conference on Water Reactor Fuel Performance (TopFuel 2012), Manchester, U.K., 2012, 6p., in USB Flash Drive.