

## TRACE/FRAPTRAN 結合コードによるハルデン LOCA 実験解析

Analysis of Halden LOCA Test Using Coupled TRACE/FRAPTRAN Code

\*江口 裕<sup>1</sup>, 藤岡 一治<sup>1</sup>, 小野 寛<sup>1</sup>, 上原 宏明<sup>2</sup><sup>1</sup>原子力規制庁長官官房技術基盤グループ, <sup>2</sup>国立研究開発法人日本原子力開発機構

LOCA 発生時の高燃焼度燃料ペレットの細片化、その被覆管膨れ部への移動及び破裂部からの放出(FFRD 現象)の燃料冷却性への影響を評価するための解析手法整備の一環として、TRACE/FRAPTRAN コードを用いたハルデン LOCA 実験解析を実施した。本稿では、燃料被覆管変形モデルについて検討した結果について報告する。

**キーワード:** 原子炉冷却材喪失事故 (LOCA), TRACE/FRAPTRAN, ハルデン実験, FFRD

## 1. 緒言

高燃焼度燃料を装荷したプラントにおいて原子炉冷却材喪失事故 (LOCA) が起きた際の燃料棒挙動が調べられ、ハルデン炉等における実験では FFRD 現象が観察されている。本稿では FFRD 現象のモデル化の一環として、TRACE/FRAPTRAN コードを用いてハルデン実験解析を実施し、燃料被覆管変形のモデルについて検討を行った。

## 2. 解析手法

ハルデン実験では、短尺化した実機燃料を試験リグに装荷し、冷却水が循環する定常状態から試験リグ下部のブローダウンラインを開くことにより LOCA 実験を実施している。本稿は PWR 燃料を装填した実験 IFA650.4 を対象に解析を行った。本解析では TRACE/FRAPTRAN コードを用い、LOCA 発生前の定常状態から LOCA 発生後に燃料被覆管が破裂するまで解析を実施した。TRACE/FRAPTRAN コードは熱水力コード TRACE5.0 patch4 と燃料棒挙動解析コード FRAPTRAN 1.5 を PVM により結合したコードである。TRACE コードが熱水力的な境界条件を FRAPTRAN コードに与える。FRAPTRAN は被覆管径の変化を計算し、TRACE に与え、TRACE コードでは受け取った被覆管径を流体の流路面積に反映させ、解析を行う。

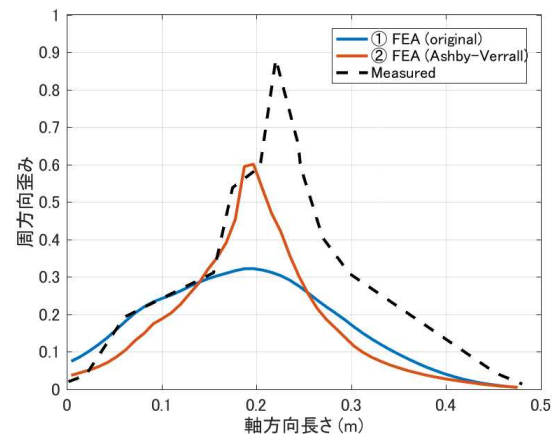


図1 周方向歪みの軸方向分布

## 3. 解析結果

燃料被覆管の変形モデルに、①FRAPTRAN 内蔵の FEA (Finite Element Analysis) モデル[1]、②FRAPTRAN 内蔵の FEA モデルに燃料被覆管の相変態挙動を考慮したクリープ歪み構成則 (Ashby-Verrall モデル[2]) を適用した解析を実施した。LOCA の発生後、ペレットの崩壊熱及び周辺燃料棒からの崩壊熱を模擬したヒーターの加熱により燃料被覆管温度が上昇し、燃料被覆管の内外圧力差により燃料被覆管が変形・破裂する。燃料被覆管破裂時における燃料被覆管周方向歪みの解析結果を図 1 に示す。①は軸方向全体的に大きく変形しているが、ピーク値が実験値と合致しないのに対し、②は全体的に変形しているのに加え、Ashby-Verrall モデルにより計算される  $\alpha + \beta$  混合相における歪み速度が①のモデルよりも大きくなっていると推測され、変形のピーク値が実験値に近づいている。

## 4. 結論

TRACE/FRAPTRAN コードを用いてハルデン実験 IFA650.4 の解析を実施した。①FRAPTRAN 内蔵の FEA モデルは本ケースのように全体的に大きな変形がある現象において、燃料被覆管の全体的な変形が模擬できるが、②歪み構成則を改良したところ実験値により近い解析結果が得られた。今後は他のモデルとの比較や他の実験へのモデル適用等を行い、高燃焼度被覆管の変形の模擬に適したモデルの検討を行っていく。

**参考文献** [1] K. J. Geelhood, W. G. Luscher, and J. M. Cuta, "FRAPTRAN 1.5: A Computer Code for the Transient Analysis of Oxide Fuel Rods", Report PNNL-19400, Vol. 1, Rev. 1, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA, USA, 2014.

[2] A.R. Massih, "High-temperature creep and superplasticity in zirconium alloys", Journal of Nuclear Science and Technology, 50:1, 21-34, 2013.

\*Hiroshi Eguchi<sup>1</sup>, Kazuharu Fujioka<sup>2</sup>, Hiroshi Ono<sup>1</sup> and Hiroaki Uehara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R), <sup>2</sup>Japan Atomic Energy Agency