

# 使用済燃料プールの冷却材喪失事故時における燃料被覆管変形挙動

## (1) ジルカロイ-4 被覆管 (受入材)

Fuel cladding deformation behavior during anticipated loss of coolant accident at spent fuel pool

### (1) As-received Zircaloy-4 cladding tube

\*中村 勤也<sup>1</sup>, 稲垣 健太<sup>1</sup>, 園田 健<sup>1</sup>, 西村 聡<sup>1</sup>

<sup>1</sup>電中研

使用済燃料貯蔵施設の冷却材喪失事故時に、燃料被覆管が膨れ変形して破裂する評価モデルの開発を目的に、想定される事故条件を超える範囲までのジルカロイ-4 被覆管を用いた破裂試験を実施した。その結果、雰囲気中の空気割合が破裂温度に及ぼす影響は軽微であること等が示された。

キーワード：使用済燃料貯蔵施設、冷却材喪失事故、ジルカロイ-4、燃料被覆管、破裂

### 1. 緒言

原子力発電事業者は、使用済燃料貯蔵施設 (SFP) の冷却機能や冷却材の喪失事故 (LOCA) 等に備えて、緩和策の導入が求められている。重大事故等対策の一つとして、スプレイ設備による燃料冷却が検討されており、その性能評価には燃料被覆管が破裂に至る条件を把握しておく必要がある。SFP-LOCA 時に燃料被覆管の破裂評価モデルの開発に向けて、本報告では、短尺の未照射ジルカロイ-4 (Zry-4) 被覆管を用いて想定される SFP-LOCA 条件を超える範囲までの破裂試験を実施した。燃料被覆管の内圧、昇温速度および雰囲気中の空気割合が、被覆管変形挙動に及ぼす影響について報告する。

### 2. 試験方法

長さ 235mm の 17×17 型未照射 Zry-4 被覆管 (受入材) に、中空 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ペレット (外径 8.2mm、内径 5.7mm) とタングステン棒 (直径 5.5mm) を挿入した密封管を、試験体とした。この試験体の周りに 8 本の加熱棒 (イットリア安定化ジルコニア被覆タングステン棒) を配置した 3×3 型バンドル (燃料ピッチ 12.6mm) を、高周波加熱装置 DEGREE<sup>[1]</sup> の中心に配置した。試験体の表面温度が 490°C 以下で定常状態を保ち、計測系の動作確認ならびに加熱装置内の安定化を図った後、所定条件で試験体が破裂するまで昇温した。試験体の初期内圧 (1~12MPa、He)、昇温速度 (10<sup>-4</sup>~10<sup>-2</sup> °C/s)、および、空気・水蒸気混合雰囲気中の空気割合 (0~100%) を試験パラメータとした。破裂後は、Ar 雰囲気中に切り替えて炉冷した。質量分析装置による封入 He ガスの検知、試験体内圧の急降下および試験体表面温度の急変から、破裂のタイミングを判断した。破裂後の試験体について、外観観察、寸法測定、横断面の微細組織観察および水素濃度分析を実施した。

### 3. 試験結果

図 1 に示すとおり、雰囲気中の空気割合が破裂温度に及ぼす影響は軽微であることが示された。これは、空気混合雰囲気中 Zry-4 被覆管の熱重量変化が顕在化し始める温度 (約 800°C)<sup>[2]</sup> よりも低温で破裂したことが一因と推測される。また、破裂温度と昇温速度および初期圧力の関係を図 2 に示す。初期内圧 (本試験では、試験体の破裂時圧力と概ね同等) に関わらず、昇温速度の低下とともに低温での被覆管クリープ歪みの蓄積によって、破裂時間が長期化し破裂温度が低温化する傾向が認められる。この相関は、設計基準事故 (DBA) の LOCA 模擬試験結果<sup>[3]</sup> と同様の傾向を示す。また、DBA-LOCA 模擬試験結果<sup>[3-4]</sup> に比べて、破裂開口部の大きさは小さい傾向を示した。これより、破裂開口部から燃料棒外へ放出される燃料片の総量が抑制されることが推測される。試験中の被覆管に吸収される水素吸収量は、より高温で破裂する DBA-LOCA 時に比べて小さく、明瞭な軸方向の水素濃度分布は見られない傾向が示された。

今後、これら基礎的な知見の蓄積に基づいて、燃料挙動評価モデルと過酷事故解析コードを連成させる等、事故シナリオに応じた破裂評価モデル開発を進めていく予定である。

### 参考文献

- [1] 中村ら, 2016 秋の大会, 3H09.  
 [2] Y. Nemoto et al., WRFPM 2017.  
 [3] F. Nagase, in R.J.M. Konings et al. (eds) Comprehensive Nuclear Materials, Elsevier (2012) pp 595-608. [4] T. Narukawa, M. Amaya, JNST, 53, 1758 (2016).

\*Kinya NAKAMURA<sup>1</sup>, Kenta Inagaki<sup>1</sup>, Takeshi Sonoda, Satoshi Nishimura<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)

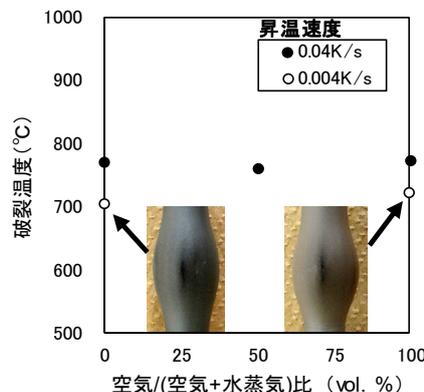


図 1 破裂温度の雰囲気依存性

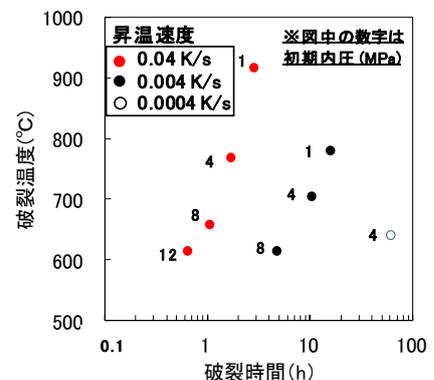


図 2 破裂温度と昇温速度および初期圧力の関係