

使用済燃料プールの冷却材喪失事故時の被覆管破裂予測モデルの開発

Development of a cladding burst model under the loss of coolant accident conditions in a spent fuel pool

*稲垣 健太¹, 中村 勤也¹, 宇井 淳¹

¹電中研

使用済燃料プールで冷却材喪失事故が発生した場合の被覆管の変形を評価し、被覆管破裂のタイミングを予測するモデルを開発した。試験データとの比較によりモデルで予測した破損時の温度は試験データとよく一致することを確認した。

キーワード：使用済燃料プール、冷却材喪失事故、被覆管、破裂、数値モデル

1. 緒言 使用済燃料プール(SFP)で冷却材喪失事故(LOCA)が発生した場合、崩壊熱などにより燃料被覆管が加熱されて破裂し、燃料ペレットと被覆管の間に蓄積された核分裂生成ガスが建屋内に放出される可能性がある。SFP の事故進展挙動を正しく把握する観点から、被覆管破裂のタイミングを正しく予測することが必要である。既往の被覆管破裂モデルは炉内で発生する LOCA を対象としたものであり、SFP-LOCA においては燃料の温度上昇速度が遅いなど炉内とは条件が異なるため、既往モデルをそのまま適用できない。

2. 手法 被覆管の初期形状および最高温部の被覆管温度と燃料棒内圧の時刻歴を入力とし、被覆管の変形(内径、肉厚)と周方向応力を逐次的に評価し、周方向応力が閾値を超えたときに被覆管の破裂発生と判定する、被覆管破裂予測モデルを開発した。クリープひずみの蓄積量評価について、被覆管材(Zry-4 or Zry-2)、温度、周方向応力によって領域を分割し、それぞれの領域で経験的に得られた異なるクリープひずみ速度評価式を用いることで、被覆管の変形を精度よく評価することを可能とした。破裂時の応力閾値は中村らが実施した被覆管破裂試験[1]から得られた破裂時の応力データを内挿して温度の関数として定式化したものを用いた。

3. 結果 燃料棒の初期内圧を 2–8MPa とした未照射の Zry-4 および Zry-2 の管サンプルを 0.0004–0.04 K/s で昇温し破裂させる被覆管破裂試験[1]を対象として開発したモデルの妥当性を確認した。モデルで評価された周方向応力の時刻歴を図 1 に示す。おおよそ 900K で周方向応力が増大し、破裂応力閾値を超える結果となった。Zry-4 と Zry-2 の両方について、モデルによる破裂温度予測値と試験結果はよく一致した(図 2)ことから、本モデルの妥当性が確認された。

4. 結言 SFP で LOCA が発生した場合の被覆管破裂温度を精度よく予測するモデルを開発した。本モデルは未照射材を対象としたものであり、今後実機の使用済燃料への適用を可能とするために水素吸収、酸化膜、照射損傷の影響を考慮したモデルの拡張を行う。

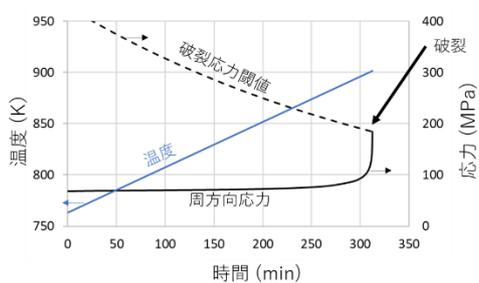


図 1 Zry-4 管サンプルの破裂試験時(内圧 8MPa, 昇温速度 0.004K/s)の周方向応力のモデルによる評価値

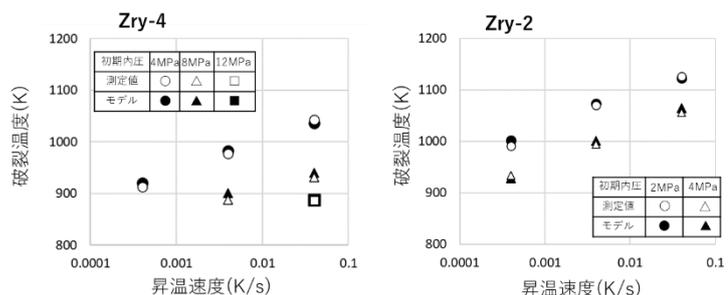


図 2 被覆管破裂温度の試験結果と開発したモデルによる予測値の比較

参考文献 [1] K. Nakamura, Top Fuel 2019.

*Kenta Inagaki¹, Kinya Nakamura¹, Atsushi Ui¹

¹CRIEPI