

事故時高温条件での燃料健全性確保のための ODS フェライト鋼燃料被覆管の研究開発(3)

(5) 既存 ODS 鋼被覆管の高速炉事故時破損限界評価

R&D of ODS ferritic steel cladding for maintaining fuel integrity at accident condition (3); (5) Evaluation on tolerance to failure of existing ODS ferritic steel claddings at the accident conditions of fast reactors.

*上羽 智之¹, 矢野 康英¹, 大塚 智史¹, 永沼 正行¹, 丹野 敬嗣¹, 岡 弘¹, 加藤 章一¹,
皆藤 威二¹, 鶴飼 重治², 木村 晃彦³, 鳥丸 忠彦⁴, 林 重成⁵

¹原子力機構, ²北海道大学, ³京都大学, ⁴日本核燃料開発株式会社, ⁵東京工業大学

高速炉用 ODS 鋼の破損寿命評価式を用い、高速炉での事故を想定して被覆管の破損耐性を評価した。

キーワード： 酸化物分散強化型(ODS)フェライト鋼、高速炉、燃料被覆管、累積損傷和(CDF)

1. 緒言

事故時高温条件における燃料被覆管の破損限界評価は、高速炉の安全性を確保する上で極めて重要である。そのため、高速炉用 9/12Cr-ODS 鋼被覆管の 1000℃までの高温クリープ特性データを新たに取得し、これを基に策定した破損寿命評価式を用いて高速炉の事故時の被覆管の耐破損性を評価した。

2. 評価方法

実証炉規模の高速炉の事故として、冷却材喪失(LOF)型と過出力型(TOP)型の事象発生後、スクラムが機能しない場合を想定した。通常運転の照射末期に燃料ピンの燃焼度が 250GWd/t(ペレットピーク)に到達し、その直後に事象が発生する状況での燃料ピンの照射挙動を燃料挙動計算コード CEDAR^[1]で解析し、被覆管の温度と応力の履歴を評価した。この評価結果と破損寿命評価式から累積損傷和(CDF)を計算した。

3. 評価結果

LOF 時の CDF の履歴を図 1 に示す。通常運転の末期(LOF 経過時間=0)では、600-700℃の温度域でのクリープ強度に優れた ODS 鋼の CDF は 10^{-7} - 10^{-5} と非常に低い。LOF 発生後 28 秒経っても、9Cr-ODS 鋼の CDF は 1.7×10^{-3} と十分低いが、12Cr-ODS 鋼とオーステナイト鋼では CDF が破損目安(=1.0)を僅かに超えた。TOP では、事象発生後 99 秒で 9Cr-ODS 鋼の CDF が 1.0 に達した。114 秒後には 12Cr-ODS 鋼の CDF が 1.0 に達したが、オーステナイト鋼では CDF の増加が顕著にならず、0.12 と低い値に留まった。事象発生後に ODS 鋼の CDF の増加が大きくなり、オーステナイト鋼の CDF を超える場合が生じる

のは、LOF や TOP の経過時間が長くなると被覆管の温度や応力が通常運転時よりも顕著に高くなり、ODS 鋼のクリープ破断強度の低下の度合いがオーステナイト鋼よりも大きくなることによる。このように事象が長引くと CDF は 1.0 を超えるが、実証炉では自己作動型炉停止機構(SASS)が事象発生後の比較的早い時期に作動する設計となっている。例えば、LOF に対しては事象発生後 10-12 秒で SASS が作動するが、この時点の ODS 鋼の CDF は 1.0 を十分下回る。TOP においても SASS の作動により ODS 鋼の CDF が 1.0 を超えない結果になることから、ODS 鋼被覆管は事故時の破損耐性を確保できると考えられる。本研究の一部は、文部科学省の原子力システム研究開発事業による委託業務として国立大学法人北海道大学が実施した、平成 25~28 年度「事故時高温条件での燃料健全性確保のための ODS フェライト鋼燃料被覆管の研究開発」の成果である。

参考文献

[1]T. Uwaba et al., Nuclear Engineering and Design 280 (2014) 27-36.

*T. Uwaba¹, Y. Yano¹, S. Ohtsuka¹, M. Naganuma¹, T. Tanno¹, H. Oka¹, S. Kato¹, T. Kaito¹, S. Ukai², A. Kimura³, T. Torimaru⁴, and S. Hayashi⁵; ¹JAEA, ²Hokkaido Univ., ³Kyoto Univ., ⁴NFD, ⁵Tokyo Tech.

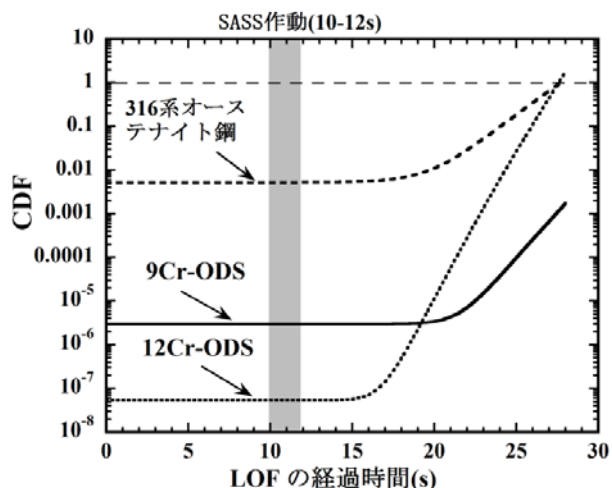


図1. LOF時のCDF履歴