

## 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) (1) 成果の全体概要

R&D of ODS ferritic steel cladding for maintaining fuel integrity at accident condition (3);

### (1) Overall results

\*鶴飼 重治<sup>1</sup>、大野 直子<sup>1</sup>、坂本 寛<sup>2</sup>、鳥丸 忠彦<sup>2</sup>、皆藤 威二<sup>3</sup>、木村 晃彦<sup>4</sup>、林 重成<sup>5</sup>

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

高速炉では既存 9/12Cr-ODS 鋼被覆管の事故時高温条件での破損耐性を評価した。軽水炉事故耐性燃料被覆管として Al 添加の FeCrAl-ODS 鋼被覆管を新たに開発し、これによる事故時燃料破損リスクの低減効果を評価した。

キーワード： ODS 鋼被覆管, 事故耐性燃料, 軽水炉燃料, 高速炉燃料

### 1. 緒言

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、平成 25-28 年度に「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」を実施した。本シリーズ発表では、4 年間の本受託事業で得られた研究成果を報告する。

### 2. 成果概要

#### 2.1 既存 9/12Cr-ODS 鋼被覆管の高速炉事故時破損限界評価

高速炉用に開発された既存 9/12Cr-ODS 鋼被覆管を対象に、1000℃までの内圧クリープ破断データを新たに取得し、事故時高温条件に適用可能な燃料破損寿命評価式を策定した。実証炉規模の高速炉で寿命末期に冷却材喪失(LOF)型と過出力(TOP)型の事故が発生した場合の累積損傷和(CDF)を、策定した燃料破損寿命評価式に基づき評価した。その結果、これらの事故時に自己作動型炉停止機構(SASS)が作動するまでの期間において、既存 9/12Cr-ODS 鋼被覆管の CDF は 1.0 を大幅に下回り、事故時の破損耐性を十分確保できることが示された。

#### 2.2 FeCrAl-ODS 鋼の軽水炉事故耐性燃料被覆管としての適用性評価

FeCrAl-ODS鋼の成分設計を行い、試作した押出棒20鋼種の試験結果に基づき、9鋼種の被覆管を製造した。FeCrAl-ODS鋼被覆管のクリープ破断強度は、Zr添加により1000℃長時間側で大幅に改善され、既存9/12Cr-ODS鋼被覆管のクリープ破断強度を上回ることが確認された。一方、Zr添加は水蒸気酸化を促進したが、過剰酸素の適切量添加によりこの課題が克服された。1400℃以上の高温では、Zr添加はアルミナスケールの剥離防止に有効であることが見出され、適切量のZrと過剰酸素を添加したFeCrAl-ODS鋼被覆管は事故時高温強度と耐水蒸気酸化を両立可能な優れた事故耐性燃料被覆管であることが実証された(国際特許申請)。また、試験を行った1450℃までの温度範囲でUO<sub>2</sub>との反応はほとんど見られず、LOCA模擬試験においても機械的特性の劣化は無いことが確認された。Zr添加FeCrAl-ODS鋼被覆管のリングクリープ破断データを用いて策定した燃料破損寿命評価式に基づき、設計基準事故(DBA)であるLOCA時にFPガス放出が始まる温度を現行材料(ジルカロイ)との比較で評価した。その結果、中性子吸収断面積の増加分を補償するため被覆管肉厚を約半分にしても、優れた高温強度と水蒸気酸化耐性により、200℃程度FPガス放出開始温度を上昇できることが示され、事故時燃料破損のリスク低減が見込めることが確認された。一方、通常運転時にα'生成による脆化が危惧されるが、475℃で長時間の熱時効でもFeCrAl-ODS鋼押出棒材は時効脆化(引張伸びの減少)の感受性が小さいことが確認された。

\*S. Ukai<sup>1</sup>, N. Oono<sup>1</sup>, K. Sakamoto<sup>2</sup>, T. Torimaru<sup>2</sup>, T. Kaito<sup>3</sup>, A. Kimura<sup>4</sup>, and S. Hayashi<sup>5</sup>; <sup>1</sup>Hokkaido Univ., <sup>2</sup>NFD, <sup>3</sup>JAEA, <sup>4</sup>Kyoto Univ., <sup>5</sup>Tokyo Tech.