シビアアクシデント時燃料棒・制御棒の破損・溶融試験装置の開発

(2) 高温水蒸気雰囲気における燃料バンドル試験体の破損・溶融試験

Development of core degradation and relocation test equipment under severe accident

(2) Degradation behavior of test bundle in steam environments at high temperature

榑松 繁² 木戸 俊哉² 倉田正輝³ *中村勤也1 尾形孝成¹

¹電力中央研究所、²ニュークリア・デベロップメント ³日本原子力研究開発機構

軽水炉 LOCA 時の初期過程を模擬した 1800℃以上までの高温水蒸気雰囲気で、蒸気流束や昇温速度を変え た燃料バンドル試験体の破損・溶融試験を行った。その結果、Zr-O液相のリロケーション/流路閉塞、ZrO2 酸化膜によるリロケーションの抑制、SS 被覆 FeB と Zry-4 の高温水蒸気反応等、特徴的な現象を観測した。 **キーワード**:燃料棒、制御棒、燃料破損、シビアアクシデント、ジルカロイ酸化

1. 緒言

シビアアクシデント(SA)時における、炉心の破損・溶融挙動の理解の深化および SA 解析モデルの検証ま たは高度化に資するため、軽水炉 LOCA 時の初期過程を模擬した高温水蒸気雰囲気で燃料バンドル試験体 の破損・溶融の素過程を解明する必要がある。前報*1では、SA 時の RPV 内化学状態を再現する試験装置 DEGREE を開発した結果について報告した。

2. 試験条件

Zry-4 被覆 ZrO2 模擬燃料棒(W 棒内装)を用いて、加熱部の高さ約 200mm の 3×3 燃料バンドル試験体 を構成した。蒸気流束(0-38 mg/cm²/s)や昇温速度(0.3-3.0 K/s)を試験パラメータにした。高周波電源の出力 を制御し、蒸気-Ar 混合気流中で、中心燃料棒の被覆管表面温度が 1800℃以上に達するまで加熱したのち、 大量の Ar ガスを導入して冷却した(D-H27-01~-04)。温度(熱電対、放射温度計)、圧力、発生ガス量(GC、 QMS)等をオンライン測定するとともに、試験体の高温可視化像を取得した。また、Zry-4板で覆った SS 被 覆 FeB 模擬制御棒を試験体の中心に配置した破損・溶融試験も実施した(D-H27-05)。

3. 試験結果

破損・溶融試験結果の概要を図1に示す。蒸気欠乏条件では、液相(α-Zr(O)-ZrO_{2-x}共晶)のリロケーショ ン/流路閉塞が顕著に観測されるとともに、上部の試験体表面では金属光沢が認められた。これは、短尺

試験体の下方で生じた 燃料バンドル試験 Zry の水蒸気反応により、 (Zry-4被覆ZrO2中空ペレット) 上部では水蒸気が枯渇し、 試験番号 D-H27-01 D-H27-02 D-H27-04 逆に水素による還元雰囲 蒸気流束(mg/cm²/s) 0 0.4 37 気に変化したことが示唆 3.0 された。蒸気潤沢条件では、 昇温速度(K/s) 3.0 2.0 ZrO₂酸化膜の形成により 冷却速度(K/s@1600℃) 2.8 3.2 2.3 リロケーションが抑制さ 最高到達温度(℃) 1858 2054 2008 れるものの、バンドル内側 試験体の外観 で被覆管が大きく縦割れ し、液相(α-Zr(O)-ZrO_{2-x}共 晶)のリロケーション/流 路閉塞を生じた。B₄C と SS の反応生成物を模擬し 被覆管縦割れ た FeB は、SS、Zry-4 およ リロケーション び蒸気と相互作用してリ &流路閉塞 ロケーションし、(Fe,Cr)₂B、 α-Zr(O)-ZrO_{2-x}共晶 (Fe,Cr)₃BO₅および ZrB₂を リロケーション 形成した。ホウ素を含む蒸 &流路閉塞 気種は、検出されなかった。 SS, (Fe,Cr)₂B, ZrB₂ 本研究は、資源エネルギ (Fe,Cr)3BO5等 一庁平成 27 年度発電用 蒸気欠乏条件 原子炉等安全対策高度化 技術基盤整備事業(シビア

図1 破損・溶融試験結果の概要

SS被覆

FeB棒

D-H27-05

30

2.0

2.6

1810

D-H27-03

38

2.7

2.8

1988

D-H26-01

35

0.3

0.2

1700

Zr0.の崩落

蒸気潤沢条件

損・溶融過程解析手法の高度化)の成果の一部である。 *1 中村ら、2016 年春の年会、2G05.

アクシデント時の燃料破

*Kinya NAKAMURA¹, Takanari OGATA¹, Shigeru KUREMATSU², Toshiya KIDO², Masaki KURATA³ ¹Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), ²Nuclear Development Co. (NDC), ³Japan Atomic Energy Agency (JAEA)