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

Development of core degradation and relocation test equipment under severe accident

*中村勤也 [1]　尾形孝成 [1]　倉田正輝 [2]

[1] 電力中央研究所，[2] 日本原子力研究開発機構

シビアアクシデント時の炉内化学状態（1500℃以上の高温水蒸気雰囲気、数℃/s 以上の急速昇温）を再現し、燃料バンドルの破損・溶融挙動を模擬する試験装置を開発した。3×3 型模擬燃料バンドルを用いた水蒸気雰囲気加熱試験の結果、温度計測、水素ガスモニタリング、高温可視化等の基本性能を確認した。

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

軽水炉シビアアクシデント（SA）時の炉心損傷過程を詳細に解明するためには、SA 時の炉内化学状態（1500℃以上の高温水蒸気雰囲気、数℃/s 以上の急速昇温）を再現し、実機同等材を用いた SA 総合試験データを蓄積する必要がある。国外では CORA、QUENCH 等の SA 試験装置を用いた炉外試験が行われ、燃料バンドルの破損・溶融挙動が明らかにされてきた。そこで、SA 時の炉心損傷の素過程の理解と解析手法の高度化に資する検証データ、ならびに新型材料の SA 時挙動データの取得等を目指し、国内で未整備であった SA 時の炉内化学状態を再現する試験装置 DEGREE（core DEGradation and RElocation test Equipment）を開発した結果について報告する。

2. 試験装置 DEGREE の設計・製作

既存加熱装置（赤外加熱炉および高周波誘導加熱炉）を用いた設計基礎データを取得し、高温水蒸気雰囲気で燃料バンドル型試験体が 1500℃以上に加熱可能と判断されたことを踏まえ、試験装置を設計製作した。試験装置の目標仕様および概念図を図 1 に示す。UO_2 燃料棒を用いることを念頭に、3×3 型模擬燃料バンドルを試験体とし、加熱領域を約 500mm とした。高温水蒸気＋Ar 混合キャリアガス中、試験体下部をキャリアガスの加熱区間、試験体上部を観測対象区間とした。上下の高周波電源を出力制御することによって、模擬燃料バンドルの温度履歴を模擬する設計とした。反応後の水蒸気をコンデンサーで凝縮し、非凝縮性の Ar と発生水素ガスは希釈したうえで排気系に排出した。また、観測窓越しに、試験体表面の温度測定と動画撮影を可能とするとともに、質量分析装置とガスクロマトグラフを用いて発生ガス量のオンラインモニタリングを目指した構造とした。

3. 模擬燃料バンドルの水蒸気雰囲気加熱試験

3×3 型 ZrO_2 被覆模擬燃料バンドルの Ar 雰囲気加熱試験より、1600℃までの温度計測と可視化が達成されることを確認した。次に、ジルカロイ(Zry)-4 被覆模擬燃料バンドルを用いて、昇温速度 0.3℃/s、蒸気流量 34mg/s/cm^2 の水蒸気雰囲気加熱試験を実施した。Zry-4 被覆管は、外表面から内面まで ZrO_2 に酸化され、最高温となる中央高さ領域では破損・崩落した。温度測定ならびに発生ガス分析手法の最適化に課題が見出されたものの、高温水蒸気雰囲気で Zry 被覆管の表面最高温度が約 1700℃に達するなど、所定の性能を有することを確認した。なお、本研究は、資源エネルギー庁平成 24～26 年度発電用原子炉等安全対策高度化技術基盤整備事業（シビアアクシデント時の燃料破損･溶融過程解析手法の高度化）の成果の一部である。

*Kinya NAKAMURA[1], Takanari OGATA[1], Masaki KURATA[2]
[1]Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), [2]Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

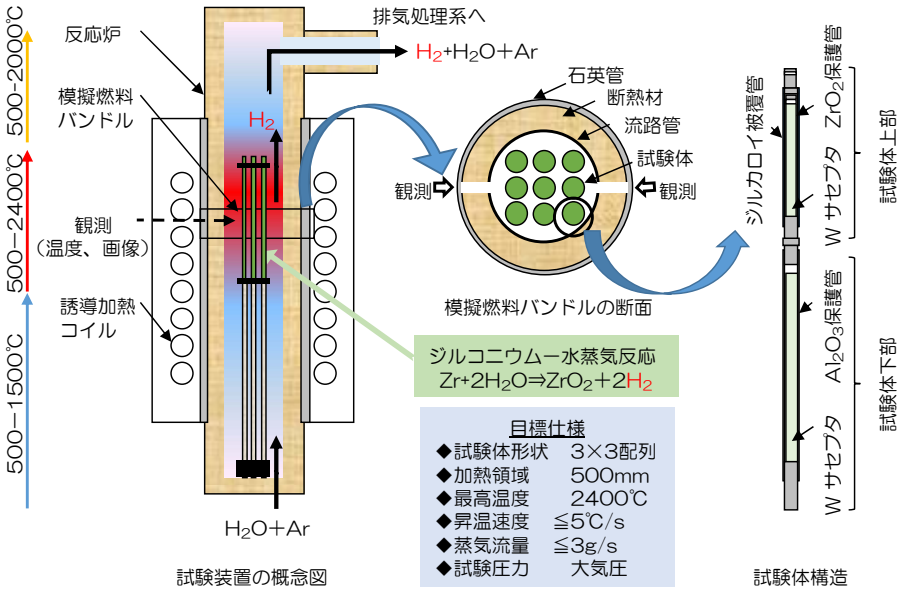

図 1　試験装置 DEGREE の概念図