燃料デブリの性状把握（28’A）
（2）Zr(O)の機械的性質評価

Characterization of Fuel Debris (28’A)
(2) Mechanical Properties of Zr(O)

*星野 貴紀，岡村 信生，渡辺 雅之，小泉 健治
技術研究組合国際廃炉研究開発機構（日本原子力研究開発機構）

過酷事故時の炉内には、$(U,Zr)O_2$に代表される酸化物相のデブリのみならず、ジルカロイ中に酸素が固溶したα-Zr(O)などの金属相のデブリも存在すると考えられる。様々な条件で作製した Zr(O)の機械的性質を測定した結果、Zr 中に O が固溶することで金属の機械的性質から酸化物に近い性質を示すことを確認した。

キーワード：デブリ、金属相、機械的性質、硬さ、弾性率、破壊靭性

１．緒言

デブリ取出しの工法の検討や装置設計に資する基礎物性データ（「燃料デブリ特性リスト」[1]）を整備するために、炉内に存在することが予想される物質を作製して、それらの機械的性質を評価してきた。本報ではα-Zr(O)を対象とし、その機械的性質を変化させる酸素濃度をパラメータとした試料を作製して、ビッカース硬さ、弾性率、破壊靭性を測定した。その他に、燃料成分である UO_2と反応させた試料や、実際の被覆管に添加されている Ni や Cr などの影響を確認するためにジルカロイ-2 を用いた試料も作製した。

２．実験

試料は、Zr またはジルカロイ-2 と酸素供給源として ZrO_2をアーク溶融炉により溶融・混合して作製した。酸素濃度は、Zr-O 状態図より酸素の固溶限である 28.6 at%以下で 8 条件（ジルカロイ-2 試料は 3 条件）をパラメータとした。また、熱履歴の影響を確認するために、一部の試料には、Zr(O)が相変態する温度（863℃）付近で焼鈍（アニール）処理を施した。U 含有試料については、U 濃度が 0.4、0.8、3.0 at%の 3 種類となるように Zr、ZrO_2、UO_2を混合した後、黒鉛製の加熱体を有する高温電気炉を用いて 2000℃で溶融させた。

３．結果・考察

作製した α-Zr(O)を含む試料は、酸素濃度とともに密度が増加し、ひび割れ（クラック）や気孔が発生し易くなった。機械的性質は酸素濃度の増加に伴いビッカース硬さは 7.95 GPa まで、弾性率（右図参照）は 208 GPa まで増加した。これらの値は、限られた酸素濃度について存在する文献値と一致していた。破壊靭性は酸素濃度が約 10 at%までは大きく減少し、それ以上でほぼ一定であった。これらの結果から、α-Zr(O)は酸素濃度が増加するにつれて、機械的性質が金属よりはむしろ正方晶の ZrO_2に近づくことが分かった。また、XRD による分析の結果、α-Zr(O)は金属の Zr と同じ六方最密充填構造であり、さらに格子定数が大きくなっていたことから、結晶構造上ビッカース硬さや弾性率は低下するものと予想されたが、反対の傾向を示した。これは、固溶した酸素イオンが Zr とイオン結合をすることにより、Zr による金属結合よりも強固な性質に変化した影響が考えられる。ジルカロイ-2 の添加物による機械的性質への影響は確認されなかったが、アニール処理の効果は、高い酸素濃度の試料でのみ機械的性質を低下させることが確認された。U 含有試料は、U 濃度の増加に伴い固溶硬化によりビッカース硬さと弾性率は一旦増加するが、より高い U 濃度では反対に減少した。これは、U が Zr と O のイオン結合を阻害したためと考えられる。破壊靭性は、α-Zr(O)の結晶構造内に U が入り込むことでクラック進展が抑制されるため増加した。

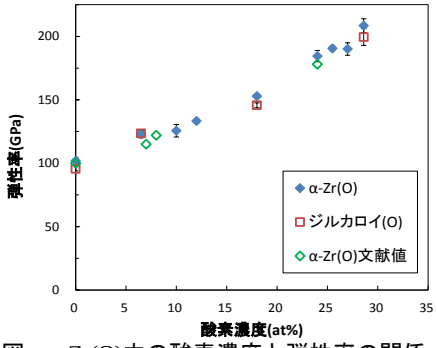

図　α-Zr(O)中の酸素濃度と弾性率の関係

参考文献

[1] 荻野ら，”燃料デブリの性状把握(28’A)　(1)プロジェクトの全体概要”，日本原子力学会 2016 年秋の大会(2016)

*Takanori Hoshino, Nobuo Okamura, Masayuki Watanabe, Kenji Koizumi
International Research Institute for Nuclear Decommissioning (Japan Atomic Energy Agency)

本件は、IRID が補助事業者として実施した平成 26 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（燃料デブリ性状把握・処置技術の開発）」に係る補助事業の成果の一部を取りまとめたものである。