

1-2 臨界評価に必要な燃料デブリ中の成分分布を調べる — 溶融模擬燃料デブリを用いた凝固時の Gd と Fe の偏析 —

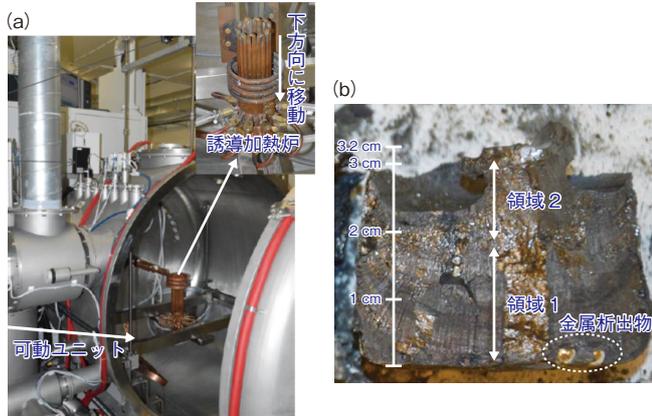


図 1-3 (a) コールドクルーシブル誘導加熱炉の外観、(b) 模擬燃料デブリの断面写真
チェコのジェシュ研究所と共同で、コールドクルーシブル誘導加熱炉で、模擬燃料デブリの溶融・凝固試験を行いました。固化後の試料を切断し、断面を観察したところ、層状の構造を持つ領域 1、空洞のある領域 2、下部には金属の析出物が確認できました。

東京電力福島第一原子力発電所 (1F) 事故では、核燃料や構造材 (主成分: 鉄 (Fe)) 等から構成される溶融物が発生し、ゆっくりと固まって燃料デブリを形成したと考えられています。溶融物がゆっくりと凝固する場合、そこに含まれている成分の偏析が起こることが知られています。核燃料の一部には、可燃性毒物 (Gd_2O_3) を含有した二酸化ウラン (UO_2) 燃料ペレットが使用されており、燃料デブリ中の Gd の分布状況を把握することは臨界安全の観点から非常に重要です。また、燃料デブリ中には多くの Fe が含まれることが考えられ、中性子吸収材としての役割を担うことから、その分布状況を知ることも重要です。

燃料デブリ中の Gd 及び Fe の偏析状況を調べるため、約 1 kg の模擬燃料デブリ (主要成分: UO_2 , ZrO_2 , Gd_2O_3 , FeO 、模擬核分裂生成物成分: MoO_3 , Nd_2O_3 , SrO , RuO_2) をコールドクルーシブル誘導加熱炉 (図 1-3 (a)) で溶融・凝固する試験を行いました。試験中、溶融物を少しずつ発熱源から下方向に引き抜くことによって、ゆっくりとした凝固条件を再現しました。

図 1-3 (b) は、凝固後試料の断面写真です。試料下部の領域 1 では層状の構造が確認され、試料上部の領域 2 では複数の大きな空洞が観察できます。図 1-4 に凝固の様子を模式的に示します。試験体下部から少しずつ凝固が始まり、領域 1 の層状構造が形成されたと予測されます。次に、上部表面が凝固し、中心に向かって空洞を形成しながら凝固していったと考えられます。また、最下部には Ru 金属の析出が確認されました。

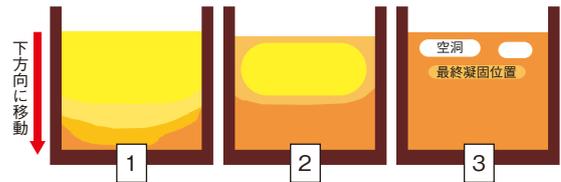


図 1-4 模擬燃料デブリ中の凝固進展 (模式図)
今回の試験条件では、模擬燃料デブリはまず下部から凝固が始まり、途中から上部が固化し、内側に向かって凝固進展しました。

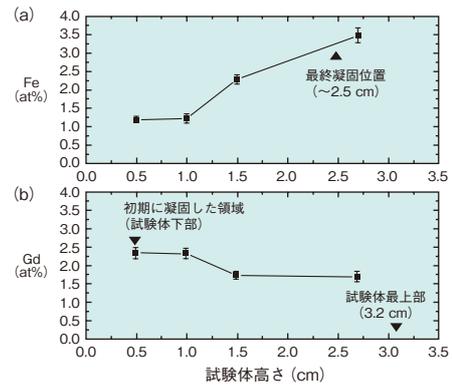


図 1-5 模擬燃料デブリ試験体断面での高さ方向の (a) Fe の組成変化、(b) Gd の組成変化
(a) Fe 濃度は最後に凝固する領域付近で、逆に、(b) Gd 濃度は初期に凝固する領域付近で最大となる傾向が確認されました。

次に、試験体断面の中心軸に沿って、上部から下部にかけてサンプリングを行い、元素分析を行いました。図 1-5 には、試験体の高さ位置に対する模擬デブリ中の Fe 及び Gd の組成変化がプロットされています。Fe は高さ 2.7 cm で最大値 3.5at% を示しています。この領域は最後に凝固した位置に近く、Fe は燃料デブリ中で最後に凝固する内部に偏析することが予測されます (図 1-5 (a))。一方、Gd は高さ 0.5 cm で最大値 2.4at% を示しています。この領域は初期に凝固した試験体下部にあり、Gd は燃料デブリ中で初期に凝固する外側に偏析することが予測されます。Gd 含有燃料は実機中に約 1% と非常に少なく、少しの偏析が再臨界に大きく影響することが考えられます (図 1-5 (b))。

今回、約 1 kg の試験体での試験を行いました。実際の 1F 燃料デブリは数十 t とも言われ、試験体と実燃料デブリの間には大きなスケールのギャップがあります。今後は、より大規模な試験体 (約 10 kg 規模) での実験データを取得しつつ、成分偏析に対する数値解析を組み合わせることで、より信頼性の高い燃料デブリ中の成分偏析データを取得し、燃料デブリ取出しに役立てていきたいと考えています。

本研究は、原子力機構とジェシュ研究所との共同研究「溶融コリウムの凝固メカニズムに関する予備試験」により実施され、日本とチェコとの良好な原子力研究協力関係の一例として、Japan Times で記事となりました。
(須藤 彩子)

●参考文献

Sudo, A. et al., Segregation Behavior of Fe and Gd in Molten Corium during Solidification Progress, Journal of Nuclear Materials, vol.533, 2020, p.152093-1-152093-8.