

「燃料デブリ」研究専門委員会活動報告
Activity Report of the Research Committee on Fuel Debris

(3) 燃料デブリの性状に関する知見の現状と課題その1

(3) Current Status and Issues of Fuel Debris Characterization (I)

*高野 公秀¹, 三輪 周平¹, 川野 昌平²

¹原子力機構, ²東芝

1. 調査の目的と対象

1Fの燃料デブリ取り出しに向けた性状把握に関する現状と課題を整理するため、本件では模擬燃料デブリを用いた試験やTMI-2デブリの分析による性状推定データの取得状況と過酷事故時のソースタームに関する既往知見をとりまとめた結果を報告する。

2. 調査・検討結果の概要

1F事故以降、実験室規模（数グラム）での熔融試験やTMI-2デブリとの比較検証、及び海外の大規模熔融実験試料の分析等により、炉心熔融固化物及びMCCI（炉心熔融物-コンクリート相互反応）生成物の性状に関する基礎データが蓄積されて来っており、生成相（化合物）、微細組織、機械特性（硬さ等）がその主要項目である。炉心熔融固化物の主成分である UO_2 - ZrO_2 系固溶体は、全率固溶する温度領域が融点直下の超高温領域に限られることから、冷却速度が生成相に影響すると予測される。すなわち急冷条件では立方晶単相が保持されやすく、徐冷条件ではUリッチの立方晶とZrリッチの正方晶（+単斜晶）に相分離しやすいと考えられる。また、熔融物の水による急冷効果の一例として、固化時に表面での粉体化・粒状化が大規模実験で確認されている。一方、金属質のデブリ構成成分では、熔融進展時の酸化状況に応じて、Zr-(Fe,Cr,Ni)系金属間化合物あるいは(Fe,Ni)系合金等がある他、中性子吸収材の B_4C がZr又はFe系の硬いホウ化物として合金中に析出している可能性が実験及び熱力学平衡計算により指摘されている。

MCCI進展に関しては、炉心熔融物とコンクリートの接触面近傍で大きな温度勾配があり、到達温度領域に応じて生成相・組織に階層構造ができていく可能性がある。コンクリートは $1200^{\circ}C$ 強から液相が始めガラス化するとともに、 UO_2 - SiO_2 系及び ZrO_2 - SiO_2 系状態図によると固相線は $2000^{\circ}C$ 前後まで低下する。MCCI時の各元素の酸化・還元挙動に関しては、コンクリートから放出される水分により酸化環境が優勢と考えられ、未酸化で流下してきたZr等金属元素の酸化が進むと考えられる。

デブリ性状の推定における課題として、①デブリの分布が圧力容器内部から格納容器底部までの広範囲に及ぶことであり、それぞれの位置において熔融物が接触する構造材、温度履歴、酸素分圧、水の有無等が異なることから、これまでに得られた性状データの網羅性に不足が懸念されること、②マイクロレベルの組織や機械特性データは比較的充実しているものの、よりマクロな連続体（バルク）として捉えた際の特異性評価が不十分な状況にあること、③取り出しまでの長期間における表面変質や溶出といった経時変化に関する知見が不足していることが挙げられる。

ソースタームに関して、既往のシビアアクシデント（SA）解析コードにおける燃料からのFP放出モデルや炉内の移行モデルの多くは特定の化学種に対する温度のみの関数となっており、算出されるソースタームの不確かさは大きい。このため、燃料デブリ取り出しに資する炉内のFP分布や性状に関する知見を得るためには、事故事象進展との相関において雰囲気や他物質との相互作用も考慮してFP放出移行挙動を評価し、モデルを改良していくことが必要となる。このため、既往実験研究で一部データは取得されているものの、他物質との相互作用による熔融の影響や、再冠水による燃料微細化の影響といった、温度のみではなく多様な物理的・化学的な条件におけるFP挙動評価を進めることが重要であると考えられる。

*Masahide Takano¹, Shuhei Miwa¹ and Shohei Kawano²

¹JAEA, ²Toshiba