下部ヘッド固液混合溶融プールの熱的挙動に関する LIVE 試験

LIVE experiment on thermal behavior of solid-liquid mixture pool in RPV lower head

*間所 寛 [1]，Xiaoyang Gaus-Liu[2]，Thomas Cron[2]，Beatrix Fluhrer[2]，René Stängle[2]，Thomas Wenz[2]，Mike Vervoortz[2]，山下 拓哉 [1]，佐藤 一憲 [1]，溝上 伸也 [1,3]
[1]JAEA，[2] カールスルーエ工科大，[3] 東電 HD

独・カールスルーエ工科大学（KIT）の LIVE 試験装置を用いて、原子炉圧力容器（RPV）下部ヘッドにおける溶融プール形成過程及び伝熱挙動に関する試験を実施した。固液混合状態においても対流がある程度発達し、下部ヘッド側部に最も熱的負荷がかかることが分かった。

キーワード：福島第一原子力発電所事故、過酷事故、溶融プール、原子炉圧力容器破損、LIVE 試験

1. 緒言

福島第一原子力発電所（1F）2 号機では、ペデスタル内部の構造物が比較的健全であることから、RPV からペデスタル内部に移行した燃料デブリは比較的低温であり、下部ヘッド内部では酸化物成分が溶融する温度に至っておらず、金属成分が中心に溶融し、固液混合状態であったと推定される。RPV 破損メカニズムの解明には下部ヘッド溶融プールの熱的挙動の把握が必要であるが、固液混合溶融プールに着目した試験は少なく、実験データの拡充が不可欠である。そこで、KIT における LIVE 試験装置[1]を用いて、下部ヘッドにおける溶融プール形成過程及び伝熱挙動に関する試験を実施した。

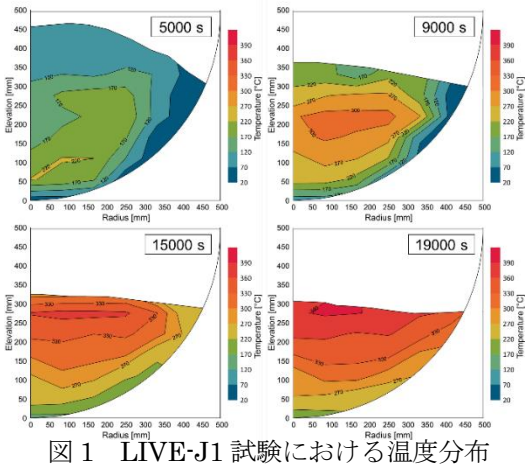

図 1　LIVE-J1 試験における温度分布

2. 実験

燃料デブリの酸化物成分及び金属成分を模擬するため、融点の異なる 2 種類の模擬物質（セラミック及び硝酸塩（融点：220~222 ℃））を用いた。1F 実機と 1:5.5 スケールとなる LIVE 試験装置に、模擬物質を固体粒子状態で装荷して実験を行った。崩壊熱は容器内部に設置した 8 層のヒーターで模擬した。試験装置上部は断熱条件、側部は空気による自然対流条件とした。固体状態で配置した模擬物質は、下部から硝酸塩の溶融が開始し、溶融プールは次第に上部及び水平方向に発達した（図 1）。表 1 に示すように、外部冷却条件及び硝酸塩を追加した試験も実施し、数値解析モデルの妥当性確認に用いられるデータとした。

表 1　LIVE 試験条件

	LIVE-J1	LIVE-J2		
		Phase 1/2	Phase 3	Phase 4
初期条件	セラミック 245 kg 硝酸塩 80 kg	J1 の最終状態	硝酸塩 +219 kg	←
熱出力	10 kW	7 kW /10 kW	10 kW	←
プール高さ	可変	~0.28 m	~0.43 m	←
上部境界	断熱	←	←	←
側部境界	空気	水	←	空気
試験条件	過渡	定常	←	過渡

3. 結論

燃料デブリが単一液相の場合、容器側部への熱的負荷がかかることは従来知見であり、異なる Pr 数（硝酸塩~10^{1}、溶融金属~10^{-1}）であっても側部への熱伝達は同様であることが示されているが[2]、本研究では、固液混合状態においても対流による水平方向の熱伝達は発達し、容器側部への熱的負荷がかかることを示した。今後、数値解析と組み合わせることによって、1F における RPV 破損メカニズムの推定に資するものとする。

参考文献

[1] F. Kretzschmar and B. Fluhrer, Forschungszentrum Karlsruhe, FZKA-7382 (2008).

[2] R. Nourgaliev et al, Nucl. Eng. Des., Vol. 169, pp. 165–184 (1997).

*Hiroshi Madokoro[1], Xiaoyang Gaus-Liu[2], Thomas Cron[2], Beatrix Fluhrer[2], René Stängle[2], Thomas Wenz[2], Mike Vervoortz[2], Takuya Yamashita[1], Ikken Sato[1], Shinya Mizokami[1,3]　1: JAEA, 2: KIT, 3: TEPCO