

重大事故時における溶融炉心のプール水中床上拡がり挙動に関する実験

Experimental study on liquid melt spreading in water pool under severe accident

*秋葉 美幸, 堀田 亮年, 森田 彰伸

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

デブリベッドの冷却性を評価する解析コード開発に資するデータ採取を目的とし、プール水中における溶融デブリの拡がり挙動実験を行っている。今回、模擬デブリから発生する黒煙の発生を抑えることによって、デブリとその周囲の蒸気挙動を明確に捉えることができた。

キーワード：重大事故、溶融炉心、床上拡がり、先行注水

1. 緒言 プール水中における溶融デブリの拡がり挙動は、落下時の微粒化や拡がり時の固化過程等における影響因子が多いことから、系統的な実験数が少なく、拡がり及び冷却挙動を評価する解析コード開発に必要なデータの取得が望まれている。これまでに、スウェーデン王立工科大学(KTH)の PULiMS 装置^[1]により、溶融物の過熱度、プール水サブクール度及び落下ノズル径を変化させた結果を報告している^{[2][3]}。しかし、これらの実験では溶融デブリからの黒煙の発生により、溶融デブリとその周囲の流体状況が明確に観察できない課題があった。そこで今回、解析コード開発の観点等から可視性の向上を著者らが求め、KTH が考案した以下の装置改良により黒煙発生を抑制し、デブリ挙動を詳細に観察した。

2. 装置改良と実験条件 黒煙発生のはたらきは、模擬溶融デブリとして用いている酸化ビスマス(Bi_2O_3)と酸化タングステン(WO_3)の共晶組成が、溶融時にるつぼ材質と反応していることと推定されたため、KTH の考案により、るつぼ材質を炭化ケイ素から反応の抑えられるアルミナへ変更した。また、これまでに拡がり挙動は比較的溶融デブリジェット落下中心軸対象である結果が得られていることから、デブリ周囲に発生する気泡等の影響を抑えてデブリ自体の挙動を明確に観察可能とするため、試験部は石英ガラスの仕切りにより周方向 90 度のみとし、観察する構成とした。実験条件を表 1 に示す。

3. 実験結果と考察 図 1 に E18 ケースにおける模擬溶融デブリの床上拡がり挙動を高速度カメラで撮影した結果を示す。図に示す通り、黒煙は発生せず、模擬溶融デブリとその周囲に発生する蒸気の挙動を明確に捉えた。図より模擬溶融デブリジェットが最初に床面に衝突して飛散した後、さらに上方からジェットが落下し、徐々に拡がってゆく挙動が観察された。デブリの落下した量が増えるにつれて蒸気量が著しく増加し、この蒸気の上昇流れにより、デブリが床面を水平方向に流れる挙動が阻まれる様子も観察された。そのため本条件では、落下したデブリが徐々に固まり、その上方に堆積してゆく結果となった。また、E17 ケースは、加熱炉内におけるデブリ温度が E18 に比べて高い条件にも関わらずノズルからの平均落下流量が少なく、ジェットというよりは滴状落下に近い状態となった。要因を検討するため、固化した模擬デブリの組成を調べたところ、 Bi_2O_3 と WO_3 の割合が共晶となる質量比 42.6:57.4 ではなく 25.4:74.6 であったことが明らかとなった。溶融物生成時に投入した Bi_2O_3 と WO_3 の量は共晶組成割合としているが、混合時あるいは実験時に偏り等が生じ、共晶組成からずれて融点が 870°C から 1200°C 程度まで上昇、固化しやすくなり、漏斗及びノズル内での放熱により固化が進みつつ落下したためと考えられる。なお、E18 の固化デブリは共晶組成となっていることを確認している。

4. 結言 溶融デブリのプール水中床上拡がり挙動について、実験装置等の改良を行うことで黒煙の発生を抑え、デブリ拡がり挙動への蒸気挙動の影響を確認できた。

参考文献 [1] A. Kononenko et al., NUTHOS-9, 2012. [2] 秋葉ら, 原子力学会 2016 年秋の大会, [3] 秋葉ら, 原子力学会 2018 年春の年会

*Miyuki Akiba, Akitoshi Hotta, Akinobu Morita

Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)

表 1 実験条件

パラメータ	ケース	
	E17	E18
落下ノズル径 (mm)	17	
落下デブリ平均流量 (kg/s)	0.15	0.75
ノズル部デブリ最高温度 ($^\circ\text{C}$)	988	889
空気中落下距離 (mm)	56	
プール水深 (mm)	210	
プール水サブクール度 ($^\circ\text{C}$)	16	9

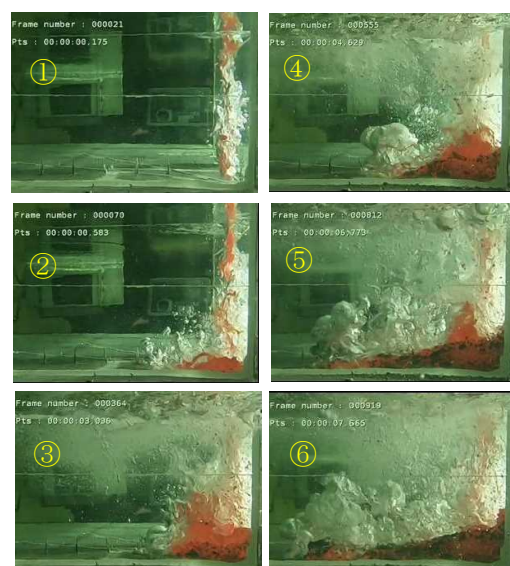


図 1 E18 ケースの拡がり挙動