

格納容器内先行注水による溶融炉心冷却挙動に関する研究
(2) JASMINE コードにおける溶融炉心床上拡がりモデルの改良と解析
Study on Molten Core Coolability under Precautionary Water Injection into Containment Vessel

(2) Analysis by Improved Melt Spreading Model in JASMINE

川部 隆平, 松本 俊慶, 安島 航平, 杉山 智之, *丸山 結
原子力機構

シビアアクシデント時の溶融炉心の冷却挙動を解明するため JASMINE コードの溶融物プールのモデルを改良し、BWR 実機条件での格納容器床上での拡がりを計算した。また、PULiMS 実験を解析した結果、現行モデルは溶融物拡がり速度をほぼ再現するが、最終的な拡がり面積を過大評価することが分かった。

キーワード: シビアアクシデント、JASMINE コード、格納容器内溶融炉心冷却性、溶融物の拡がり、PULiMS

1. 緒言: 軽水炉のシビアアクシデント時に圧力容器外へ流出した溶融炉心の冷却性を評価するには、伝熱量を支配する溶融物の拡がりを正確に求める必要がある。このために格納容器床上に存在する水層に落下してきた溶融物の熱的・動的挙動を解析できる JASMINE コード^[1]の溶融物プールモデルを改良した。

2. 解析モデル改良: 床材内の熱伝導を解析し溶融物から下面に伝わる熱量を正確に評価できるようにした。床を金属板とした実験の解析では熱伝導偏微分方程式を有限差分法で解くが、コンクリート床に対しては相変化点の座標に関する常微分方程式を解く(図 1)。更に、コンクリートから生じる熱分解気体、溶融物中の不純物気体の気泡発生に伴う見かけ密度の減少を模擬し、拡がり駆動力の減少を考慮できるようにした。

3. 実機条件での解析: 820 MWe 級の Mark I 改良型格納容器を有する BWR を想定し、全炉心に相当する過熱度 10 K の溶融炉心が、500 s 又は 1000 s で水深 2 m の水層を有する格納容器床に落下するとした。いずれの条件でも 100 s 以内に溶融物はペDESTAL 室の壁面にまで到達した。

4. PULiMS 実験との比較:

4-1. 実験体系と手順: PULiMS 実験^[2]では模擬溶融物として Bi₂O₃-WO₃ 共晶混合物を用い、高周波加熱するついでに溶融した模擬溶融物を、20 mm 径の出口ノズルを有する漏斗を介して水プールに落下させた。水プールの初期深さは 200 mm、底はステンレス板であり、上部空間は大気開放されている。

4-2. 実験と解析の結果の比較: 溶融物中気泡の影響は小さいが、床の熱伝導を考慮すると、従来の床表面温度一定と仮定した場合より床面への除熱量が減少して拡がり面積が増大し、実験値を過大評価する(表 1)。また、拡がり速度をほぼ再現するものの、水への伝熱量を過小評価するため(図 2)、クラスト生成に依存する最終的な拡がり面積を過大評価することが示された。

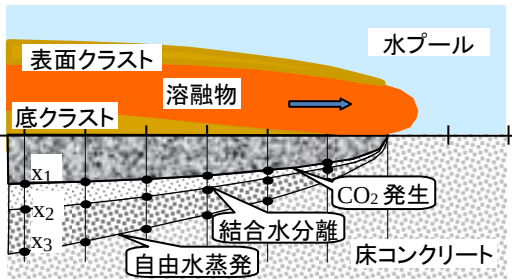


図 1 溶融物拡がりモデルと床コンクリート温度変化

表 1 実験結果と JASMINE 解析結果の比較のまとめ

実験条件 (溶融物量・温度)			溶融物拡がり面積(m ²)			
Run	質量 (kg)	過熱度(K)	実験	界面 温度一定	床熱伝導考慮	
					気相 無視	気相 浮力
E1	23.4	136	0.14	0.292	0.472	0.495
E4	46.9	70	0.30	0.518	0.816	0.792
E6	78.1	179	0.43	0.505	1.068	1.208

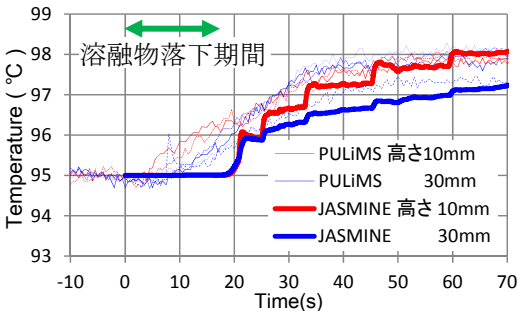


図 2 水温の比較(PULiMS E9 実験、r=300mm)

5. 結論:

実機解析では、格納容器床に落下した炉心溶融物は、途中で凝固せず容易にペDESTAL 室壁面まで達した。しかし PULiMS 実験の解析から水への伝熱を過小評価することが示されたため、拡がりが抑制される可能性をさらに詳細に検討する必要がある。本研究は、原子力規制庁から受託した平成 28 年度原子力施設等防災対策委託費(シビアアクシデント時格納容器内溶融炉心冷却性評価技術高度化)事業の一部である。

参考文献

[1] K. Moriyama, et al.(2008), JAEA-DATA/Code 2008-014
[2] A. Konvalenko, et al., NUTHOS-9, Kaohsiung, Taiwan, Sep. 2012, N9P0303

Ryuhei Kawabe, Toshinori Matsumoto, Kouhei Ajima, Tomoyuki Sugiyama and *Yu Maruyama, JAEA