SERENA2 に基づく溶融燃料 - 冷却材相互作用解析

Fuel-Coolant interaction analysis based on SERENA2

*森田　彰伸，堀田　亮年
原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

溶融燃料−冷却材相互作用(FCI)に関する OECD/NEA/SERENA Phase2(以下「SERENA2」)では、二つの装置(KROTOS 及び TROI)を用い、プロトタイプ溶融燃料を用いた実験的知見が得られている。SERENA2 の結果に基づき、水蒸気爆発コード JASMINE3 を用いて、現象、実験及び入力の不確かさを考慮したコードの予測性能評価を実施した結果について報告する。

キーワード：溶融燃料 - 冷却材相互作用、シビアアクシデント、SERENA、JASMINE3

1. 緒言　シビアアクシデント時の溶融燃料−冷却材相互作用(FCI)に関する現象解明と解析コードの予測性能向上を目的として、OECD/NEA により SERENA2 実験プロジェクトが実施され、二酸化ウランに炉内構成部材に相当する金属等を混合したプロトタイプ溶融燃料を用いた大規模体系による実験的知見が得られている。本報では、JASMINE3 を用いた SERENA2 実験解析を通じて同コードの予測性能を評価した。

2. SERENA2 の概要　SERENA2 は 2 箇所の大規模設備(KROTOS 及び TROI)を使用して実施された実験である[1]。KROTOS では直径 0.2 m の円筒体系において約 5 kg の燃料を口径 30 mm のノズルよりプール流入させた。TROI では直径 0.6 m の円筒体系、約 20 kg の燃料、ノズル口径 50 mm としている。両実験ともに外部トリガを与えている。共通の組成を用いた各 6 ケースの実験を行うことにより、過熱度、初期圧力、溶融物組成の効果だけでなく、空間幾何形状効果を含む知見を得ることを目的としている。

3. 実施内容　JASMINE3 を用いた評価において、インパルスに影響を及ぼす不確かさパラメータを、本現象の中核的な物理モデルに係る”注目領域”と、装置、方法、計測等の実験条件固有の” 周辺領域”に分離した。(Table.1) 周辺領域に属するパラメータは各実験ケースでの実績値に基づき設定した。なお、両実験ではトリガを制御したタイミングで与えており、これを周辺領域としてケース毎に実績値を与えた。また、溶融物のプール流入履歴は、溶融物生成法、落下装置設計、実験方法等の影響を受けるため周辺領域として扱い、パイロメータ温度、熱電対により同定された落下速度、落下途中のジェット形状画像及び回収質量に基づきケース毎に設定した。その上で、既往実験の JASMINE3 による解析結果に、今回の SERENA2 に基づく解析結果を併せて、注目領域パラメータのベース値を各ケース共通に設定した。圧力時刻歴の実測値と解析結果比較例から、ベース値により実測の圧力履歴を良好に予測できることが分かる。インパルス測定結果についても良好に予測することを確認した。(Fig.1) また、細粒化及び圧力伝播に係る不確かさパラメータを保守的に設定したバウンディング評価条件を求めた。さらに、感度解析結果に基づき全ての不確かさパラメータに対して確率密度関数を設定し、サンプリングによる統計評価を行うことにより 95%信頼度×95%確率上限値を評価した。現時点の評価では、95×95 値はベース値の 2 倍から 3 倍程度となっている。この不確かさ幅は、溶融物粗混合、細粒化、爆発、圧力伝播等の主要過程に関する知見不足のみならず、溶融物生成、落下、トリガ、計測等の実験技術に係る知見不足にも依存しており、今後のさらなる調査によって縮小する余地がある。

4. 結言　本検討により、プロトタイプ溶融燃料を用いた大規模実験である SERENA2 に対する JASMINE3 の適用性について知見を得ることができた。また、統計評価の結果、インパルス等主要な指標に対するモデルの影響を定量的に把握することができた。

参 考 文 献 [1] OECD/NEA, OECD/SERENA Project Report Summary and Conclusions, 2015

*Akinobu Morita, Akitoshi Hotta
S/NRA/R

Table.1 List of uncertainty parameters

フェイズ	不確かさパラメータ
全体	幾何形状
	初期圧力
	プール水温
	メルト温度
	メルト落下履歴
	メルト物性
粗混合	ジェット径
	ジェットブレークアップ係数
	エントレイン液滴離脱時径方向速度成分
	粗混合粒子径
	ジェット-冷却水界面摩擦係数
トリガリング	ジェット先端位置
	トリガ位置
	トリガタイミング
	ガス成分
	ガス温度
細粒化	爆発後粒子径
	フラグメンテーション係数
圧力伝播	蒸発に用いられるエネルギ割合

注目領域　周辺領域

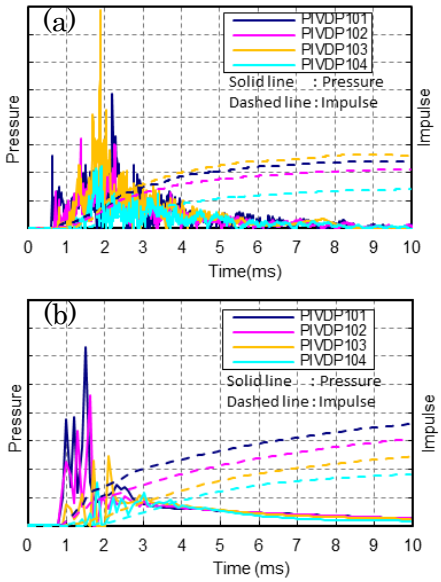

Fig.1 Dynamic pressure of TS-4 (a)Experiment (b)Base Case Analysis