

総合講演 報告2

「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会活動報告

Reports on Latest Activities of Research Committee on

Fission Product Behavior under Severe Accident

3. Phébus FP試験に基づくベンチマークで得られた知見とSA解析コードへの反映

3. Information obtained from Benchmark analysis based on Phébus FP Project and its feedback to SA analysis codes

*中村 康一¹¹電力中央研究所、

本発表では本研究専門委員会の3つのWGのひとつ「ベンチマーク評価」WG活動計画を紹介する。

キーワード：福島第一原子力発電所、シビアアクシデント、核分裂生成物、Phébus FP 試験

シビアアクシデント（SA）時のプラント内の核分裂生成物（FP）の挙動は、格納容器（CV）内あるいは原子炉冷却材系統における熱水力、デブリ挙動、エアロゾル、及び化学挙動が絡む複雑現象である。このような挙動の評価ツールとしてはSA解析コードが開発されてきた。既存のSA解析コードとしては、米国のMAAP, MELCORの他、欧州のASTEC、国内ではSAMPSONなどが存在する。コードごとに、試験解析や実機事故のベンチマーク解析を通じた改良が精力的に進められてきた。一方でSA現象やFP挙動はそもそも不確実さが大きく、依然未解明な点が多く存在し、コードごとに様々なモデルアプローチや特徴が存在するのが現状である。SA解析コードの開発者はこのような現象論的な特徴を十分に理解した上で、モデリングとコード設計を行う必要がある。またSA解析コードのユーザーは、このような現象論的な特徴の理解に加えて、使用する解析コードの特性を理解し、目的を踏まえた適切な境界条件に基づき解析を行う必要がある。

本ベンチマーク評価WGは、SA時のFP挙動に関する国際的な重要知見を調査することにより、今後のFP挙動研究の実施、SA解析コードの開発、またはSA解析コードを様々な分野（図1参照）に適用するに際して参考となる情報を抽出することを目的とする。次のステップにより実施する。

まずは、Phébus-FP試験に基づく知見とSA解析コードへの反映状況の調査を行う。Phébus-FP試験は仏国IRSNを中核とする国際プロジェクトで実施された唯一のSA総合試験である。本試験では、FPの炉心燃料からの放出、配管内移行、CV内挙動の一貫した試験が行われた。さらに、国際標準問題(ISP46)^[1]及びECプロジェクト(SARNET)^[2]として、各国各機関によるSA解析コードによるベンチマーク解析



図1 SA解析コードの主な適用先とアウトプットの例

*Koichi Nakamura¹,

CRIEPI

が行われた。既存の SA 解析コードの FP 挙動評価モデルにこれらの知見がどのように反映されたかを整理する。表 1 に ISP46 の結果のまとめを示す。各フェーズにおけるコードの後とのベンチマーク結果に加えて、改良又は追加が必要なモデルが整理されている。

表 1 ISP46 のまとめ^{[1][3]}

フェーズ	項目	コード	比較的良く合った解析結果	必要なモデル開発など
炉内	熱応答	ASTEC, ATHELET, SAMPSON, MAAP4.04, MELCOR1.8.4	・バンドルの温度履歴	・バンドル出口温度の評価精度向上 (過大評価) ・照射燃料と非照射燃料との差を考慮した溶融 Zry による燃料溶融モデル
	水素生成		・試験誤差±10%のほぼ上限	・酸化被覆管の破損クライテリア
	デブリ分布		・バンドル最終状態	・FP と構造材との反応、エアロゾル発生量
	FP 放出割合		・FP の積算放出量 (CORSOR では低温側で放出量を過大評価)	・中/低揮発性核種の放出 (Mo は低く Ba は非常に高く評価、Ru/U は分散大) ・溶融 AIC からの Ag/In/Cd の放出、Zr 被覆管からの Sn 放出 (過小評価)
一次系	FP と構造材の保持	MELCOR, ASTEC, MAAP4, SAMPSON	・全体での沈着割合 (UP で過小評価、SG で過大評価、ノード分割が粗すぎると過小評価)	・壁への蒸気凝縮 ・熱泳動モデル (検証済にも拘らず過大評価) ・Cs と I の化学形と物理形状
格納容器	熱水力挙動	MELCOR, ASTEC, MAAP, SAMPSON, ECART	・熱水力	・実機適用性 (サイズや形状の違い)
	エアロゾル沈着速度		・拡散泳動と重力沈降が重要だが、結果は様々	・滞在時間が実機より短い(凝集効果小)
ヨウ素化学	Ag/I 反応モデル	ASTEC, ATHELET, SAMPSON, MAAP4.04, MELCOR1.8.5		・一次系でのガス状ヨウ素 (非熱化学平衡?) ・気相反応、有機ヨウ素反応、放射線分解 (吸着速度、ペイント表面への吸脱着速度、ガス状ヨウ素割合などの最適化)

次に福島第一発電所 (1F) 事故解析の知見を調査する。OECD/NEA BSAF プロジェクト^[4]では各国各機関が参加するベンチマーク解析が実施されている。1F プラント内の放射線量分布の計測値と SA 解析コードによる解析結果の比較から、SA 解析コードの FP 挙動モデルの特徴を整理する。またこれらの調査を通して、SA 解析コードの 1F 廃炉作業への活用方法や、SA 解析コードの精度向上に資する観点から今後の廃炉作業において取得することが有効な計測データ等も抽出したい。

最後に調査全体を通して SA 時の FP 移行挙動に関する現状知見、解析コードのモデリング及び課題の抽出を行う。SA 解析コードを取り巻く状況は、1F 事故を契機に大きく変化した。SA 解析コードは、1F 廃炉計画の検討、既存炉の設置許可申請における重大事故対策の有効性評価の他、原子力防災のシナリオ検討、レベル 2PRA 等、幅広い分野への適用されるようになった。これらの個々の目的に応じて、SA 解析のアウトプットや求められる精度は当然異なる。本 WG ではこのような目的の違いも踏まえて知見と課題の整理を進めていき、適切な情報発信をしていきたい。

<参考文献>

- [1] Clément B. et al., "Thematic network for a Phebus FPT1 international standard problem (THENPHEBISP)", Nucl. Eng. Design, Vol. 235, p.p. 347-357, 2005
- [2] M Di Giuli. et al., "SARNET benchmark on Phébus FPT3 integral experiment on core degradation and fission product behavior," Nucl. Eng. Design, Vol. 93, p.p. 65-82, 2016
- [3] B.Clement and T. Haste, "Comparison Report on International Standard Problems ISP-46", THENPHEBISP-D005 draft(2003).
- [4] OECD/NEA report, "Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (BSAF Project)," NEA/CSNI/R(2015)18, 2016