

「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会の活動報告

—3 年間の活動実績と今後の展開—

Latest activities of the Research Committee on Fission Product Behaviors under Severe Accident

(3) 短/中/長期 FP 挙動評価

(3) Short, medium and long term behavior of FPs

*唐澤 英年¹¹IAE

1. 緒言

ベンチマーク評価 WG は、SA 解析コードの精度向上のため、SA 解析コードに組み込まれている FP 挙動評価モデルの内容を検討している。そして、Phebus FP 試験のベンチマークで得られた FP 挙動に対する解析モデルの技術課題を検討している。また、1F 廃炉作業に不可欠な放射性核種の分布を把握するため、SA 解析コードによる 1F 内の Cs 分布評価に対する技術課題を検討している。これら検討状況について報告する。

2. SA 解析コードに組み込まれている FP 挙動モデルの概要

SA 解析コードとして、MELCOR, MAAP, ASTEC, SAMPSON, THARES を選定し、これら解析コードに組み込まれている FP 挙動モデルを比較検討している。FP 挙動モデルとしては、燃料/デブリからの FP 放出、制御材/構造材の放出、FP 化学形、エアロゾル生成・移行・沈着、スクラビング、ヨウ素化学を検討している。モデルの不確定性については、モデルとして実験で得られた相関式を用いている場合が多いことから、実験条件を調査している。

3. Phebus FP 試験のベンチマークで得られた課題

参考にした解析は、FPT1 ベンチマーク(ISP-46)と FPT3 ベンチマーク(EC-SARNET)で、FP 挙動に対して得られた技術課題を下表に示す[1, 2]。Cs の化学形に関しては、従来 CsOH と CsI とされていたが、多くの解析コードで Cs₂MoO₄を扱うようになった。また、B₄C 制御棒に関しては、Cs₃BO₃の生成による I2 割合増加や、リロケーションした B₄C/SS/Zry 混合液体の燃料アタックによる FP の早期放出などモデルの改良が必要とされている。ただし、Phebus FP 試験は PWR の炉心を模擬した試験であることから、BWR の炉心体系における B₄C 制御棒の挙動に関しては、別途検討が必要である。

表 1 Phebus FP 試験ベンチマークで得られた主な技術課題[1, 2]

項目	解析コード	ベンチマーク結果	技術課題
FP/構造材の放出	・ MELCOR ・ ASTEC ・ MAAP4 ・ SAMPSON	・揮発性 FP の積算放出割合は再現 ・Mo は低く Ba は非常に高く評価、Ru/U は分散大 ・構造材は過小評価	・中/低揮発性核種と U の放出モデル ・溶融 AIC からの Ag/In/Cd の放出と Zr 被覆管からの Sn 放出のモデル ・B 放出モデル
一次系での移行・沈着	・ ICARE2 ・ SCDAP/RELAP5	・UP で過小評価 ・SG で過大評価	・壁への FP 蒸気凝縮モデル ・熱泳動モデル ・Cs/I の化学形
格納容器内での沈着		・拡散泳動と重力沈降が主要沈着機構だが、結果は様々	・拡散による沈着モデル ・ヨウ素化学モデル

4. 1F 事故解析で得られた課題

1F 事故のベンチマーク(BSAF)が、CSNI により 16 機関で MELCOR, MAAP, ASTEC, SAMPSON, THALES2,

SOCRAT を用いて行われた[3]。境界条件を固定した最適解析では、RCS 圧力／水位、燃料温度、水素発生についてはコード間の差は小さかった。しかし、燃料のリロケーション、外部注水による冷却、ベントに関しては、各コードのモデル化の違いにより差が出た。

BSAF フェーズ 2 では、8 機関で MELCOR, SAMPSON, ASTEC, MAAP を用い 1 号機から 3 号機までのソースタームを評価した。得られた環境へのソースタームを用い、SNL 所有の大気拡散モデルで沈着量を評価した[4]。沈着量は、気象条件だけでなくソースタームの不確定性にも大きく依存した。WW ベントによる環境へのソースターム評価は、プールスクラビングモデルに影響される。このため、各コードで使用しているプールスクラビングモデルを比較検討している。

5. 1F 内の Cs 分布評価

1F 廃炉を安全かつ効率的に進めるためには、燃料デブリだけでなく Cs の分布評価が必要である。このためには、BSAF のような SA 解析で得られる事故直後の Cs 分布評価（短期評価）だけでなく、その後の汚染水処理の評価（中期評価）と、燃料デブリ取出しまで、及び燃料デブリ取出し時の放射性核種の移動を評価（長期評価）する必要がある。SA 解析コードは本来ソースターム評価を目的としているので、Cs などの放射性核種の中・長期挙動を評価する 1F 廃炉解析ツールには、下表に示すモデルの追加などの検討が必要である。また、これらモデルの開発には、PCV 内部調査データなど実機測定データを活用することが重要となる。

表 2 1F 廃炉解析ツールに必要なモデル

項目	必要なモデルなど	活用する実機データ等
・配管や機器への FP 沈着	・配管内エアロゾル沈着モデル	・建屋内線量率分布 ・CAMS 線量率
・PCV からのエアロゾルのリーク	・狭隘部でのエアロゾル捕捉モデル	
・冷却水によるエアロゾルの洗浄	・壁沈着エアロゾルの水洗浄モデル	・CAMS 線量率 ・汚染水の核種分析 ・PCV 内部調査
・燃料デブリからの放射性核種の追加放出	・Cs/Sr やアクチノイドなどの放射性核種の水相への溶解モデル	
・コンクリート内への核種浸透	・コンクリート内での Cs/Sr などの放射性核種イオンの吸脱着モデル	
・沈着エアロゾルの形態変化	・壁に沈着したエアロゾルの放射線などによる化学形態変化モデル	・PCV 内部調査
・水素燃焼によるエアロゾルの再浮遊	・壁に沈着したエアロゾルの水素燃焼に伴う高速流による再浮遊モデル	・WSPEEDI 解析結果 ・敷地内デブリ線量率
・解析区画分割	・ソースターム解析では考慮していない PCV 内の機器などを含めた解析区画	

6. まとめ

今後、各コードで使用している FP 挙動モデルの不確定性を調査するとともに、各 WG と意見交換を行い、モデル高度化に必要な実験や Cs 分布評価に必要な実機データなどを明らかにしていく。そして、SA 解析コードの FP 挙動評価モデル高度化に必要な技術課題をまとめるとともに、1F 廃炉解析ツール開発に必要なモデルとモデル開発に活用できる実機データをまとめていく。

参考文献

- [1] B.Clement and T.Haste, Note Technique SEMAR 03/0021(2003).
 [2] M.D.Giuli, et.al., Proc. of NENE2014, 312.1(2014).
 [3] Phase 1 Summary Report, NEA/CSNI/R18(2016).
 [4] <https://www.nrc.gov/docs/ML1909/ML19093B815.pdf>

*Hidetoshi Karasawa¹ ¹IAE