

### 第3回：日本原子力学会 「原子炉過酷事故に対する機構論的解析技術」 研究専門委員会 議事録

1 日時：2022年6月6日（月） 13:30-16:30

2 開催場所：WebEX形式

3 参加者：（敬称略、順不同）：29名

守田（九大）、吉田（JAEA）、木野（エネ総研）、山下（JAEA）、古谷、山路（早稲田）、木倉、高橋（東工大）、武田（山梨大）、張（東大）、齊藤、伊藤啓、伊藤大（京大）、宇埜（福井大）、鈴木（東京都市大）、堀江（東芝ESS）、原（三菱）、星野（日立GE）、西、西村、氷見（電中研）、西田（INSS）、手塚（エネ総研）、飛田、堂田、永江、佐藤、松本、岩澤（JAEA）

4 議事：

- (1) 前回の議事録確認
- (2) 機構論的モデル開発に関する問題点（現象の分析とモデル構築方法）（氷見委員）
- (3) 模擬デブリ内気液二相流の計測とモデル化（齊藤委員）
- (4) 溶融炉心の拡がり解析（原委員）
- (5) その他（今後の予定・進め方など）

5 配布資料：

資料 3-0 SA 研究専門委員会第3回会合\_議事次第

資料 3-1-1 SA 研究専門委員会第1回会合\_議事録

資料 3-1-2 SA 研究専門委員会第2回会合\_議事録

資料 3-2 20220606. 機構論的モデル開発に関する問題点 rev05

資料 3-3 SA 研究専門委員会\_齊藤\_20220606

6 議事概要：

- (1) 前回の議事録確認
  - 木野幹事より、第1回会合・第2回会合の議事録を一般公開することについて熱流動部会から要請があったことについての説明があった。
  - 守田主査より、第3回会合の議事録確認時に合わせて、第1回・第2回議事録の公開の可否についても確認することが提案され、了承された。
- (2) 機構論的モデル開発に関する問題点（現象の分析とモデル構築方法）（氷見委員）
  - 氷見委員より、SA 解析コード MELCOR を用いた Phebus 解析の概要、3次元非対称性、ヨウ素挙動の不確かさに関する課題についての講演があった。
  - ✓ 炉心全体で見れば出力・温度分布などに依存した3次元性が存在するのではない

- だろうか？必ずしも偶発的とは言えない。
- ⇒ その通りで、決定論的要素は存在する
  - ✓ セシウムと比べてヨウ素の方が環境に放出されやすいということはあるか？福島原発事故の場合、ヨウ素の方が放出されやすかったという測定値が存在する。
    - ⇒ CsI で動いたあと、水中でヨウ素のみが化学反応を通じて放出された可能性がある
  - ✓ なぜ Phebus では 3 次元性が見られたのか？何らかの物理的要因は考えられるのか？
    - ⇒ その点について、論文中では言及されていない
  - ✓ 3 次元的非対称性は事象進展に影響を与えるのか？
    - ⇒ 局所的に流路閉塞が起こる場合と起こらない場合があるなどが想定され、炉心の破損の仕方が変わる可能性がある
  - ✓ ヨウ素化学はどうすればわかるようになるのか？
    - ⇒ 一つ一つの素過程を詰めていく必要がある
  - ✓ 電中研では MAAP と MELCOR の両方が利用できたはずだが、MELCOR を利用した理由はあるか？また、Phebus の 3 次元性について、領域間での温度差はどの程度あるのか？
    - ⇒ MELCOR を利用した理由は単純に個人的な利用のしやすさから選択した、領域間の温度差は 200K 程度となっており、これは溶融の有無も含めて異なってくると考えられる
  - ✓ ロードマップの見直しについて、何か具体的な提案はあるか？
    - ⇒ ①-2: 「素過程の十分な解明に至っていない」という記述があるが、素過程自体について一部解明されてきている面もあり、加筆する点もあると考えられる
    - ⇒ ⑥-2: 内容についてもっと深められる点もあると考えている
- (3) 模擬デブリ内気液二相流の計測とモデル化（齊藤委員）
- 齊藤委員より、デブリベッドを模擬した球充填層における流動様式の可視化手法、圧力損失の測定に関する講演があった。
  - ✓ 動画を見る限り、合体や分裂があったように見えなかったが、実際に起こっていたのか？

- ⇒ 気泡数が増えたり減ったりするのは少し合理的でない、カウントミスなども否定できない。
  - ✓ 初期の気泡径はどの程度影響を与えるのか？どこで解消されるのか？
  - ⇒ まだ調べ切れていない、大きな気泡が入り口付近で細かくなるという現象も確認されている。
  - ✓ 実際の事故ではデブリ自体が発熱し、内部で気泡が発生したりするが、それらは今後の実験でも考慮されるのか？
  - ⇒ 相変化を伴う系について、充填物を加熱することは難しいと考えている。熱容量が大きければ、球を十分に熱することで非定常な実験もできるのではないかと、もしくは減圧沸騰を考えている。
  - ⇒ 減圧沸騰は局所的な発生があり、均一に気泡を発生させることは難しかった。特に、ヘッドが効くため、デブリの上の層から蒸発が発生する。
  - ✓ 今回用いた粒子径は 5mm や 10mm であったが、粒子が小さくなると GAP 間も小さくなり、挙動が変わるのではないかと？
  - ⇒ 粒子径が小さくなると保水量が変わり、影響があると考えられる。ただ、1mm の粒子系も実施したが、顕著な影響は見られなかった。
  - ✓ 壁の Drag 効果は考慮しているのか？
  - ⇒ 粒子の表面積が非常に大きいため、壁の影響はそれほど大きくはないと考えている
  - ✓ 実際のデブリは大きさがバラバラであるが、今後はどのようにしてそれらを考慮していくのか？SA 解析にはどのように反映できるのか？
  - ⇒ 間隙やデブリ粒径をパラメータとして手法が確立できれば、評価できると考えている。
  - ⇒ 代表的ポロシティのような量を見出すことで、実際の SA 解析などにも適用できるのではないかと考えている。
- (4) 溶融炉心の拡がり解析 (原委員)
- 原委員より、Fluent を用いたデブリ拡がりの CFD 解析および実験 (セラミック床、コンクリート床) との比較、拡がり途中における現象模擬の精緻化に向けた課題に関する講演があった。
  - ✓ クラストの形成と割れについて、先端を乗り越えるという現象はなかったのか？

- ⇒ 今回の実験ではなく、溶融して割れるという現象が主であったが、実際は先端を乗り越えるという現象もあり得る。
  - ✓ **形成されたクラストは機械的に割れるのか？それとも溶融するのか？**
  - ⇒ 両方ありうると考えられる。クラストは冷えて固まれば非常に硬くなるが、薄い場合は機械的に割れる可能性もある。
  - ✓ **再稼働審査などでもこのようなCFDを利用するのか？**
  - ⇒ 審査では1次元解析を用いる。CFDは現象をより深く理解するために実施している。
  - ✓ **運動量減衰モデルが必要となる理由は何か？**
  - ⇒ 粘性だけでは流動が止まらなかった。そのため、運動量減衰モデルを加えた。
  - ✓ **最終的な停止位置はそれほど実験と変わらなかったということは、途中過程は最終結果に大きな影響は及ぼさないのか？**
  - ⇒ その点については議論がある。最終到達距離が合うならそれで良いという意見もあるが、実機においてデブリ拡がり途中で止まって全体に薄く拡がらないということがあるなら、それも再現できなくてはいけない。検証には大規模試験が必要となる。
  - ✓ **実験結果においては、拡がり距離が進んだり、戻ったりしているが、そのメカニズムは何か？**
  - ⇒ 実験での測定において、先端の定義があいまいであったためにそのように見えている。全体を平均化すべきであったと考えている。
  - ✓ **カメラなどによる観察との比較はあるのか？**
  - ⇒ ある。実験では解析のようなきれいな広がりはなく、いびつな形で拡がっており、今後考察を深めるためにも、比較していく必要がある。
  - ✓ **粘性と運動量減衰モデルの入れ替え時に不連続となるのではないか？**
  - ⇒ 完全な連続とはなっていないと考えている。
- (5) その他（今後の予定・進め方など）
- 守田主査より、今後の進め方について、事故進展に影響を与える現象をどのように解析できるのか、検証データ整備の必要性があるのか、詳細解析と全体解析をどのように連成させていくのか、熱流動のみではなく構造とのカップリングも進

めていくべき、などの論点が提示された。また、現時点で6件の話題提供があるが、もう少し様々な分野の方のお話を伺ったうえで、委員会のまとめ方について考えていく方向性が示された。

- 委員より、「ヨーロッパで議論されているSA研究の優先順位付けと日本のロードマップとの比較」が今後の活動計画案の一つとして提案された。
- 守田主査より、第4回委員会案（10～11月頃に実施、ハイブリッド開催@九州大学）が示された。
- 守田主査より講演者・参加者への謝辞・第3回委員会の総括が述べられたのち閉会した。

以上