

株式会社テプコシステムズの解析から得られた 建屋内水素挙動に関する知見と今後の展開

2023年6月22日

東京電力福島第一原子力発電所事故対策室

これまでの経緯

- **第34回 事故分析検討会（2023年12月20日）**

- 株式会社テプコシステムズ（以下、TEPSYS）によるGOTHICコードを用いた3号機の水素濃度分布解析の紹介

- **東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ（2023年版）**

「本シミュレーションは、「多段階事象」モデルの成立可能性を示唆するものと、東京電力は評価をしている。調査チームとしては、境界条件の詳細やシミュレーション結果の安定性などについての追加の意見交換を予定しており、現段階では評価を確定していない。」

- 2023年2月7日、3月2日、5月25日に面談を実施。
- 第38回 事故分析検討会（本日）で追加説明。

- **第37回 事故分析検討会（2023年4月24日）**

- JAEAより水素凝縮による水素局在化現象に関する解析の紹介

本発表は、以上の経緯を踏まえて、TEPSYSの解析から得られた示唆、及び今後必要と考えられる検討をまとめたものである。

TEPSYS GOTHC解析の概要

解析条件

トップヘッドフランジ部から水蒸気と水素の混合ガスが原子炉ウェルに噴出した。

示唆された現象

1. 混合ガスの漏洩が継続すると5階は高温状態となり、水蒸気の凝縮量が減少した。
2. 4階以下に押し込まれた混合ガスは、水蒸気が凝縮したため、水素濃度が大きくなり、燃烧可能な雰囲気形成された。

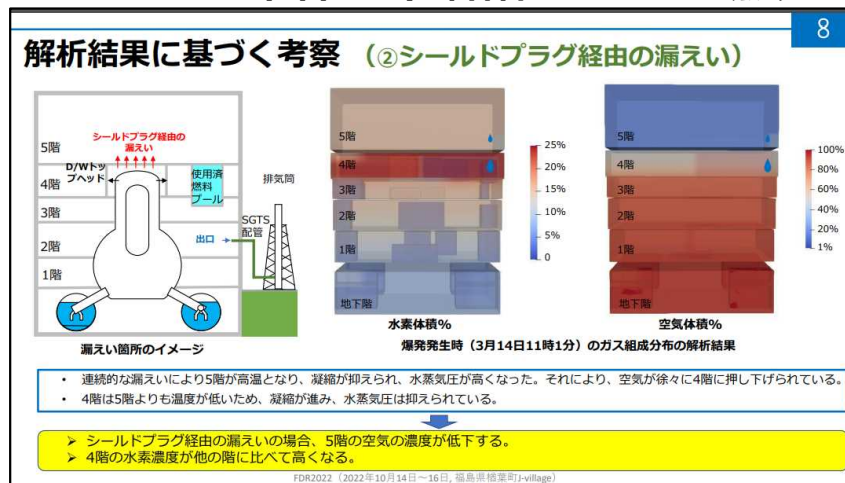
→ 4階以下では燃烧可能雰囲気となり、5階は水蒸気濃度が大きいいため、燃烧不可能な雰囲気が維持された（酸素欠乏状態）。

漏洩混合ガス流量に関するパラメータ解析から得られた示唆

空気-蒸気-水素のシャピロ線図を用いて、各解析ケースにおける各階の燃烧可能性の時間変化を評価した。

- 混合ガス流入量によってシャピロ線図内での時間過渡が変化するものの、5階よりも下層階（4階以下）の方が燃烧しやすい傾向

✓ 広い条件で下層階のほうが燃烧しやすい状態が続く可能性が示唆された。



東京電力福島第一原子力発電所事故における事故の分析に係る検討会（第34回） 資料2より

重要現象と用いられた物理モデルに関して

第34回事故分析検討会(2022年12月20日)以降の面談で以下のことを確認

重要現象：凝縮と乱流輸送

1. 凝縮モデル¹⁻⁴：GOTHICマニュアルで推奨され、幅広い実験データで検証されたモデルを使用した。
2. 乱流モデル^{5,6}：ヨーロッパの大型模擬格納容器を用いた熱水力実験結果を用いて検証されたモデルを使用した。

参考文献

- 1.Herranzら, Nuclear Engineering and Design, Vol. 183, 1998, pp.133-150
- 2.Liuら, Nuclear Engineering and Design, Vol. 199, 2000, pp.243-255
- 3.Haら, Nuclear Engineering and Technology, Vol. 49, 2017, pp.941-952
- 4.西村、堀田, 2016年原子力学会春の年会、 1 C14
- 5.Launder& Spalding, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 3, pp. 269-289
- 6.Andreaniら, Nuclear Engineering and Design, Vol. 354, 2019, 110177

TEPSYS解析のまとめ①

- 3号機において、4階で第一段階の爆発が生じた経緯を説明できる結果を示した。
- シビアアクシデント時の原子炉建屋内での混合ガス輸送に関して、これまで注目されていなかった現象を示唆した。



水蒸気凝縮が重要現象となり、漏洩点付近から離れた場所で、漏洩点付近よりも燃焼しやすい条件に到達する。

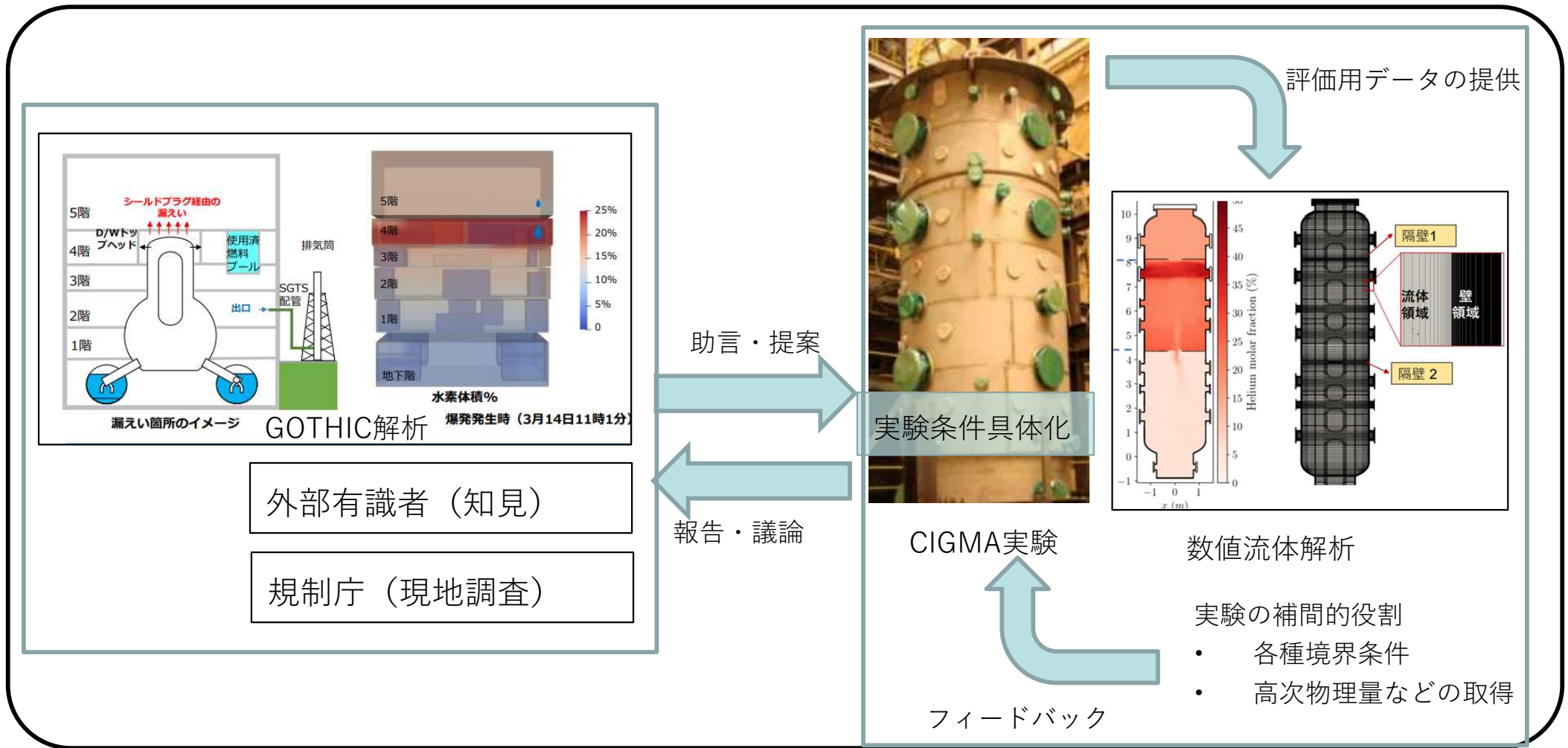
TEPSYS解析のまとめ②

放出源から離れた下層階（4階以下）で可燃領域に到達する

- 混合ガス流量に関するパラメータ解析から、幅広い条件で成立することが確認できた。
- TEPSYSのGOTHIC解析で用いられた物理モデルは、幅広い実験データを用いて有効性評価を実施がなされており、妥当であることが確認できた。

解析で得られた現象は定性的に妥当なものであり、3号機において4階で第一段階の爆発が生じたことを説明できる。

CIGMA実験による下層階燃焼領域の形成メカニズムの把握



CIGMA実験と解析の目的

1. 5階よりも下層階（4階以下）で燃焼可能領域が形成されることに関して
 - 現象の把握（凝縮及び乱流挙動）
 - 実験データベースの拡充及び構築



2. 詳細な数値流体解析によるCIGMA実験の解析
 - 実験データの補間
 - 解析精度の定量性把握→精度向上→実スケールでの解析



下層階に燃焼領域が形成される条件の整理

スケジュール案

- 7～8月：
 - JAEAから外部有識者（TEPSYS等）にCIGMAの装置仕様の詳細説明
 - 外部有識者から着目するべき現象、実験への要望などをJAEAに伝える
- 9月
 - プレCFD解析の紹介
 - JAEAから実験ベースの提案、外部有識者との議論
- 1月：実験開始
 - 結果を報告