

分布定数モデルに基づく GOTHIC による NUPEC M-7-1 試験解析

Analysis on NUPEC M-7-1 test based on GOTHIC fully distributed parameter modeling

*西村 健, 堀田 亮年

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

NUPEC 水素混合試験 (M-7-1) に対して、格納施設の水素分布評価に活用されている GOTHIC (Generation Of Thermal-Hydraulics Information for Containment) を用いて、詳細分布定数モデルに基づく解析モデルを構築し、本モデルでの空間分割や熱伝達モデルの感度を確認した。

キーワード：水素リスク評価, 数値解析, GOTHIC, 格納施設, シビアアクシデント

1. 緒言

GOTHIC の空間ノードの離散化は、集中定数系で平均場として扱うモデルと、有限差分法により多次元空間分割して扱う分布定数モデルが併用できる。GOTHIC の妥当性確認報告書での NUPEC 水素混合試験モデル [1] (以下「ベースモデル」という。) は、集中定数モデルを中心にドーム区画等の一部に数 10 点程度の粗い分布定数モデルを適用している。本稿では、大規模 CFD 解析への境界条件生成のために GOTHIC が適用可能であることを確認するため、ベースモデルと比べ大幅に分割数を増加した数千点規模の詳細分布定数モデルによる気体濃度分布に対する効果について検討した。

2. NUPEC 装置への GOTHIC 分布定数モデルの適用

Fig.1 に本検討で用いる解析体系を示す。NUPEC 装置のフロアごとに定義した空間ノードを、白線で示す格子面で数 10cm に分割した。灰色で示す装置内の幾何形状は、格子面の透過率や体積の多孔率により模擬した。全 13000 点程度の計算点数を 6 物理コアで並列化し、圧力方程式を共役勾配法で効率的に解いた。熱的挙動は流動に対する障害物に熱構造材を配置した。凝縮熱伝達オプションには、相変化アナロジーに基づき熱伝達率/凝縮率を計算する DLM-FM モデル、又は壁面の液膜面積に基づき熱伝達量を調整する FILM モデルの感度解析を実施した。特に DLM-FM モデルには気液相相への熱伝達量配分を定めるモデルパラメータがあるため、その感度についても確認した。なお、乱流モデルには標準 k-ε モデルを適用した。

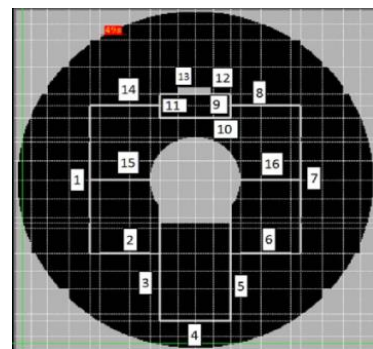


Fig.1 GOTHIC grid system

3. 結果・考察

Fig.2 に FILM モデルを適用したケースでの代表点のヘリウム濃度の推移について、本解析結果、ベースモデルの解析結果 [1]、実験結果 [2]、について、図中ではそれぞれ「DP」、「LP」、「Exp」と識別して示す。DP と Exp の比較により、本解析体系での結果はヘリウム濃度推移を良好に予測できることを確認した。特に装置下部のヘリウム放出区画 (C-8) では、DP_C-8 と LP_C-8 の比較により、空間の詳細化によりヘリウム濃度の予測精度が向上することを確認した。なお、本解析で扱った M-7-1 試験は容器下部から放出されたヘリウムがドームへ移行する間に拡散しやすいという点がある。その影響要因は移行経路の形状や乱流拡散などが挙げられるが、本検討の範囲ではそれらの影響要因が成層化のような局所性に及ぼす影響を含めた適用性の確認までは至っていない。そのため、上部区画からヘリウム放出する試験ケースについても、同様の検討を継続し、総合的に適用性を判断する。

計算時間は、試験時間に対しおよそ 120 時間程度要した。GOTHIC は二相多成分系基礎式を半陰解法により解くため CFL 条件の制約を受ける。計算時間が計算格子の増加と共に大幅に増加するため、求められる解像度に対して現実的な計算時間の範囲において解を得るための判断材料を蓄積する必要がある。

4. 結論

本稿では分布定数モデルに基づく GOTHIC により NUPEC 水素混合試験 (M-7-1) を対象に、空間の詳細分割による気体濃度分布予測への効果について確認解析を実施した。今後、GOTHIC による境界条件を空間解像度の高い詳細 CFD 解析に与えるマルチスケール解析システムを構築し、水素混合及び水素燃焼に対する実験的知見の解釈等に活用していく予定である。

参考文献

[1]“GOTHIC Thermal Hydraulics Analysis Package Qualification Report, Version 8.1(QA)”, 2014

[2]OECD/NEA, “Final Comparison Report on ISP-35: NUPEC Hydrogen Mixing and Distribution Test (Test M-7-1)”, 1994

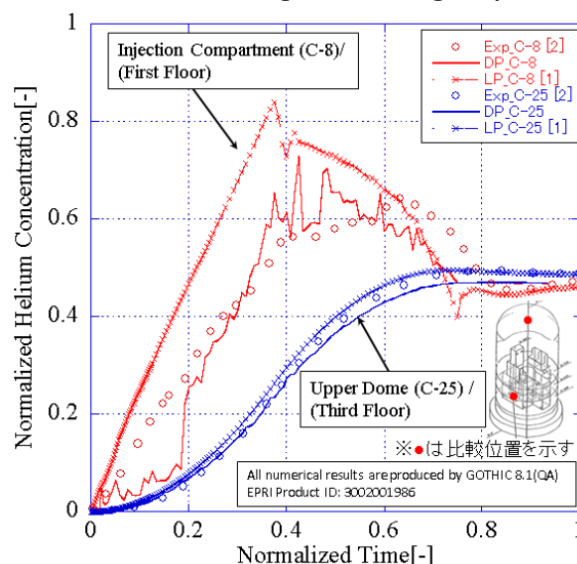


Fig. 2 Time Evolution of Helium distributions

*Takeshi Nishimura, Akitoshi Hotta
S/NRA/R