

OECD/HYMERES HM1-1 ベンチマークテストに関する CFD 解析 ダイナミック乱流シュミット数モデルを用いた RANS 解析

CFD analysis on OECD/HYMERES HM1-1 benchmark test

RANS analysis with dynamic turbulent Schmidt number model

*安部 諭¹, Etienne STUDER², 石垣 将宏¹, 与能本 泰介¹

¹日本原子力研究開発機構, ²フランス原子力・代替エネルギー庁サクレー研究地区

シビアアクシデント時の格納容器内水素リスクに関する現象的理解向上を目指して OECD/HYMERES プロジェクトが進められた。本報告では、プロジェクト内で行われた CFD ベンチマークテストに関して、乱流シュミット(およびプラントル)数を動的に変化させるモデルを用いた解析結果について発表する。

キーワード: OECD/HYMERES, MISTRA, 格納容器, 密度成層, ダイナミック乱流シュミット数モデル

1. 緒言

シビアアクシデント時には、水-ジルコニウム反応で発生した水素による爆発が生じ、原子炉格納容器等の健全性脅かされる可能性がある。この現象を理解するには、格納容器のような大空間内での水素のような軽い気体の挙動や分布を把握する必要がある。OECD/HYMERES プロジェクトは、シビアアクシデント時の水素リスクに関する現象的理解向上を目指してフランス CEA 及びスイス PSI の大型実験装置を用いて進められ、その中で高温衝突ジェットによる密度成層侵食・崩壊に関する CFD ベンチマークテストが行われた。

2. HM1-1 ベンチマークテスト概要

この CFD ベンチマークテストの解析対象は、CEA が所有する大型模擬格納容器 MISTRA で行われた HM1-1 テストである。この実験では図 1 に示すように、容器上部に水素の代替気体としてのヘリウムと空気の混合気体により密度成層を形成した後、内部構造物に衝突した高温ジェット(約 150°C)によりその密度成層の侵食・崩壊を促進させた。また、本ベンチマークテストの特徴的な点として、共通モデルとして参加者全員が同様の物理モデル(標準 k-ε モデル、固体壁-流体間熱伝達を考慮など)を用いた解析の提出が義務付けられた。筆者らはこれに加え、乱流拡散係数を乱流モデルから定数の乱流シュミット数(およびプラントル数)を用いて線形評価する従来モデルを改良して、独自モデルとして成層での流れ場の様子(リチャードソン数で評価)に応じて局所的に乱流シュミット数を動的に変化させるモデル(ダイナミック Sc_t モデル)[1]を用いた解析を行った。

3. CFD 解析手法および結果

CFD 解析は、オープンソースコードの OpenFOAM ver. 2.3.1 により行った。基礎方程式は、レイノルズ平均された混合気体の質量保存式、運動量保存式、化学種およびエンタルピーの輸送方程式とした。乱流モデルは標準 k-ε モデルを適用した。解析メッシュ数は、100 万程度で噴流をよく再現できるように流入部付近のメッシュが密になるよう作成した。図 2 に 2 点での計測位置における、ヘリウムの濃度の時系列データを示す。乱流シュミット数が定数の共通モデルでは、成層侵食・崩壊が速く進行しているが、ダイナミック Sc_t モデルを用いた解析結果では、濃度変化が実験結果に近づき、良好な一致を示している。

4. 結論

OECD/HYMERES プロジェクト内で行われた CFD ベンチマークテストに関する解析を行った。その結果、ダイナミック Sc_t モデルを用いることで高温衝突ジェットによる密度成層の侵食・崩壊をより精度よく解析できた。

参考文献

[1] Zachary A. Elliott, Subhas K. Venayagamoorthy, Evaluation of turbulent Prandtl (Schmidt) number parameterization for stably stratified environmental flows, *Dynamic of Atmospheres and Oceans* Vol.51 (2011) pp.137-150

*Satoshi ABE¹, Etienne STUDER², Masahiro ISHIGAKI¹, Taisuke YONOMOTO¹

¹JAEA, ²CEA Saclay.

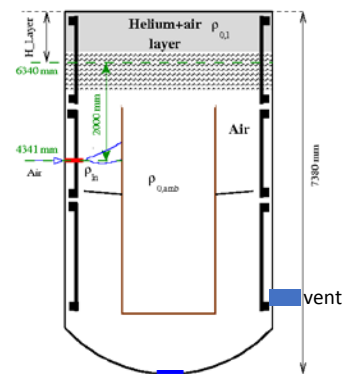


図 1 HM1-1 実験概要

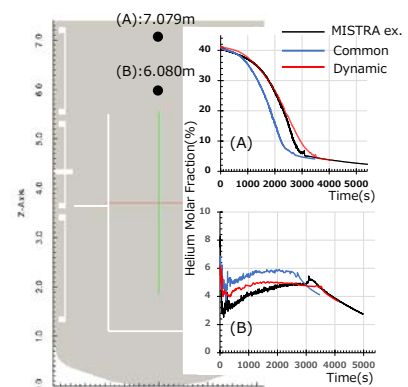


図 2 ヘリウム濃度時系列の比較