

総合講演・報告2「水素安全対策高度化」特別専門委員会報告

原子力における水素安全対策の向上に向けて

Advancing hydrogen safety for nuclear plants

(3) 水素挙動統合解析システム整備 進捗状況 ―水素燃焼挙動の照合解析―

Present status of hydrogen behavior simulation code system development

- CFD analysis relating to combustion behavior -

*松本 昌昭¹¹三菱総合研究所

1. はじめに

水素安全対策高度化事業において、JAEA、MHI、MRI は、水素の発生から拡散・爆発燃焼に至る挙動を解析評価するための数値流体力学（CFD）による水素挙動統合解析システムの整備を進めている。本システム整備の一環として、爆発燃焼解析コードの整備とそれによる水素燃焼挙動の照合解析を通じた爆発燃焼モデルの成立範囲の検証を進めてきた。本稿では、CFD 解析コードによる水素燃焼挙動の照合解析の状況、及び解析結果による CFD コードの適用性の評価について報告する。

2. 水素燃焼挙動の検証解析

水素燃焼挙動解析を行うために、オープンソースコードである OpenFOAM、特にその中の DDT（Deflagration to Detonation Transition）を再現するためのソルバーである ddtFoam を使用した。実験データに基づく検証解析を通して、OpenFOAM に実装したモデルの成立範囲の確認を行った。検証に用いる試験ケースの選定には、爆燃や火炎加速に加え、DDT が発生して爆轟に至るケースを対象とするとともに、小規模な試験から大規模な試験までを網羅するように選定した。具体的には、爆燃を対象として THAI 試験（中規模試験）・NTS 試験（大規模試験）・NUPEC 試験（大規模試験）、火炎加速を対象として ENACCEF 試験、爆轟及び DDT を対象として RUT 試験を選定した。

爆轟及び DDT の検証解析結果の一例として、RUT 試験の試験装置の概要と解析結果を示す。図 1 は RUT 試験装置の構成であり、図 2 は初期水素濃度が 14% 条件での火炎速度と火炎面位置の関係を示したものであり、解析結果と文献値[1]について、それぞれ解適合格子（Adaptive Mesh Refinement: AMR）法を使用した場合と使用していない場合を比較したものである。試験では図 1 の canyon 部において爆轟を起こしたが、初期解析結果（図 2 の青線）では爆轟が再現できなかった。そこで ddtFoam に解適合格子法を実装して、文献値（図 2 のピンク線）と同様に canyon 部における爆轟を再現することができた（図 2 の黒線）。

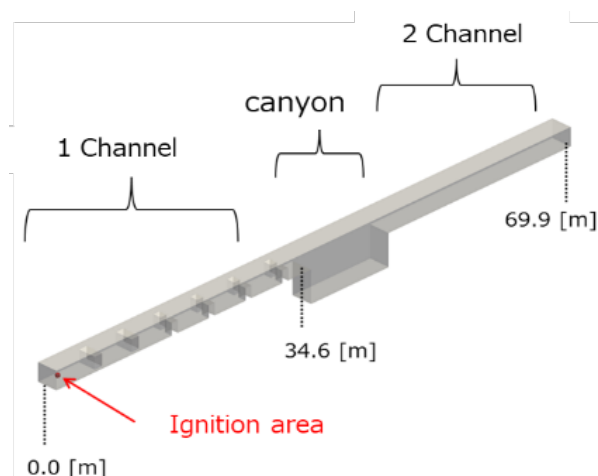


図 1 RUT 試験構成

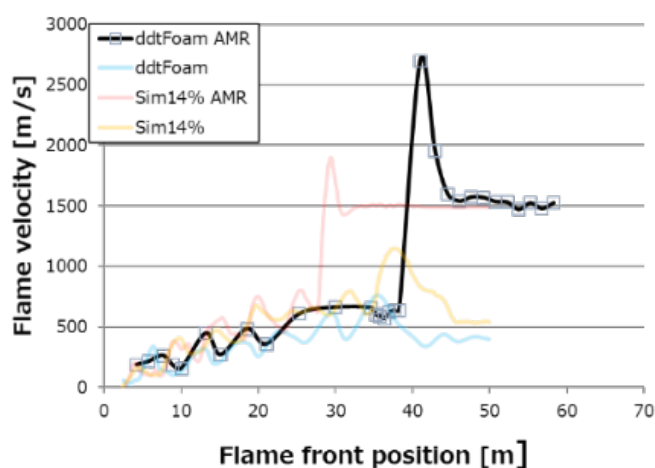


図 2 RUT 試験解析結果

また図3は点火から0.266~0.269秒後における圧力コンターと反応進行度が0.5の等値面（図3の緑面）の解析結果について、canyon部周辺の様子を示した図である。図3より点火後0.268秒後において（図3の左下図）、圧力が上昇しており、確かにcanyon部において爆轟が再現されていることが確認できる。

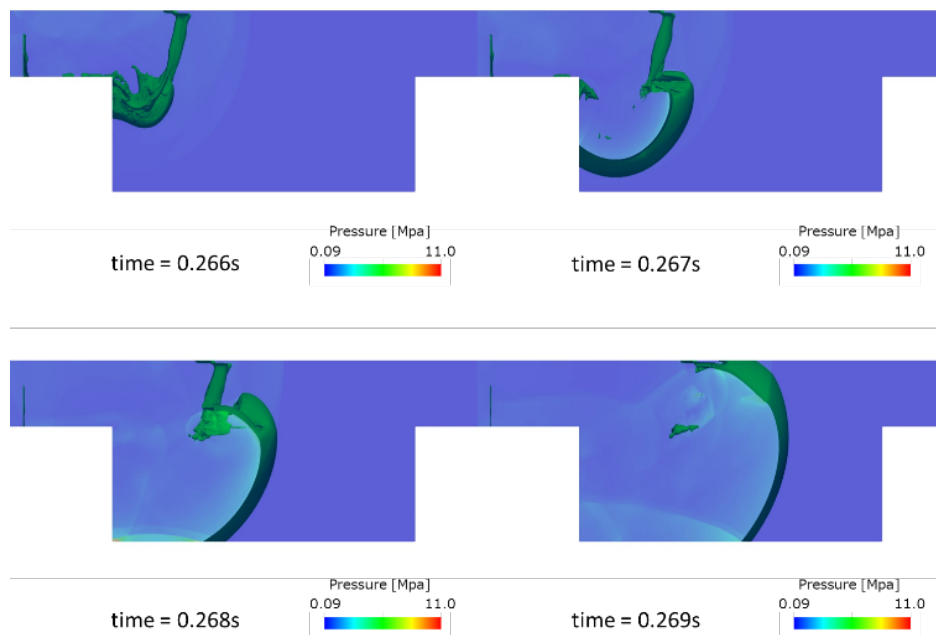


図3 試験容器内における圧力コンターと反応進行度等値面（反応進行度が0.5）の解析結果

3. おわりに

5つの燃焼試験（THAI, NTS, NUPEC, ENACCEF, RUT）についての検証解析を通じて、様々な火炎速度及び小規模から大規模までの様々なスケールでの OpenFOAM コードの適用性の評価を行うことができた。また検証解析を通じて、解析精度向上のためのコードの改善を行ってきた。今後は実機 CV スケールへの適用を目指して、より大型かつ複雑形状における検証解析を実施していく。

本報告は、経済産業省資源エネルギー庁からの受託事業「原子力の安全性向上に資する共通基盤整備のための技術開発事業（水素安全対策高度化）」の一環として実施したものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Josef Hasslberger, Lorenz R. Boeck, Thomas Sattelmayer. "Numerical simulation of deflagration-to-detonation transition in large confined volumes" Journal of Loss Prevention in the Process Industries volume 36 (July 2015) Pages 371-379

*Masaaki Matsumoto¹

¹Mitsubishi Research Institute, Inc.