

再処理工場の重大事故に係る重要現象に関する評価手法の高度化 (6) Artificial Thickening Flame 法による水素爆発解析の計算負荷低減について

Enhancement of Analysis Method for Important Phenomenon of Severe Accidents at
Reprocessing Plant

(6) Computational cost reduction of hydrogen explosion simulation by Artificial Thickening Flame Method

*坪井 伸幸¹, 玉内 義一², 小玉 貴司², 林 光一³

¹九州工業大学, ²日本原燃, ³青山学院大学

水素爆発時の重要現象である圧力、流速の数値解析には、高い格子解像度が要求され計算コストが膨大となる傾向がある。計算コストを低減しつつ、高解像度の計算を再現することを目的として、Artificial Thickening Flame 法を適用した解析を実施した。

キーワード: Hydrogen Explosion, Hydrogen explosion analysis, Deflagration-to-Detonation Transition, Artificial Thickening Flame

1. 緒言

水素を燃料とする予混合気着火から爆轟に至る過程の数値解析を行う場合、化学反応を正確に取り扱うために詳細化学反応を使用する必要がある。しかし、この詳細化学反応を使用する場合、ミクロンオーダーの格子解像度が要求されるため、実験スケールの数値解析でも実現が困難であった。この課題を克服するために火炎面を人工的に厚くする Artificial Thickening Flame(ATF)法[1]が有望である。本発表では障害物を有する管内に充填された酸水素予混合気中の爆轟遷移について数値解析を実施し、既存の実験データとの比較を行い、その有効性を報告する。

2. 数値解析法

支配方程式は 9 化学種を含む質量保存式と化学反応を考慮した 3 次元圧縮性 Navier-Stokes 方程式であり、解析コードは in-house コードである。対流項には AUSMDV スキーム、高次精度化に 2 次精度 MUSCL 法、リミターとして minmod limiter を使用した。時間積分法には 3 次精度 TVD Runge-Kutta 法を用いた。生成項には Point Implicit 法を用いた。化学反応モデルには、詳細化学反応モデルである 9 化学種、21 素反応の UT-JAXA モデルを使用した。

ATF については、層流火炎厚さとその厚さの中に入れる格子点数がパラメータであり、任意の格子形状で解析できるように構築されている。また、火炎以外には ATF の効果がかからないようになっている。

3. 計算結果概要

計算条件については、前田ら[2]が行った障害物を有する矩形管（高さ 85 mm、幅 100 mm、長さ 590 mm）を対象とし、初期条件として、当量比 1 の酸水素予混合気を充填し、初期圧力は 70 kPa、初期温度は 293 K としている。格子点数は約 3500 万点から 1 億 8000 万点まで 3 種類の計算格子で解析を行った。計算格子の依存性はある程度あるものの、火炎伝播速度に関して実験結果と比較して妥当な爆轟遷移の状況を得ることができた。

4. 結論

実験スケールの爆轟への遷移について、ATF を用いた数値解析を行った結果を報告した。今後、様々な形状や条件について解析を行う予定である。

参考文献

[1] T. D. Butler and P. J. O'Rourke, International Symposium on Combustion, Vol. 16, pp 1503-1515, 1977.

[2] S. Maeda, et al., Shock Waves, 26, pp.573-586, 2016.

*Nobuyuki Tsuboi¹, Yoshikazu Tamauchi², Takashi Kodama² and A. Koichi Hayashi³

¹Kyushu Institute of Technology, ²Japan Nuclear Fuel Limited, ³Aoyama Gakuin University.