

FLACS による NUPEC 大規模水素燃焼実験解析

Analysis on NUPEC Large Hydrogen Combustion Experiments using FLACS

*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

実機格納容器体系での実用的な水素燃焼解析手法の確立を達成するため、NUPEC 大規模水素燃焼実験を対象として、燃焼解析コード FLACS (以下「FLACS」という。)の適用性の確認を実施した。

キーワード：水素リスク評価、燃焼解析、FLACS、格納容器、シビアアクシデント

1. 緒言

2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所での事故で見られたように、シビアアクシデントに至った場合には過熱炉心等の酸化反応により相当量の水素が発生し、対策が講じられなければ格納容器の健全性を脅かすような水素爆発を引き起こす潜在的なリスクが存在する。水素の燃焼から爆轟に至るまでの各燃焼形態は、それぞれ異なる特徴を有するため、水素燃焼の解析には燃焼形態の特徴を考慮した解析の実施が重要である。例として燃焼に伴う圧力応答は、Adiabatic Isochoric Complete Combustion (AICC) のような簡易手法でも合理的な評価が可能である。その一方で AICC では空間を一点近似して評価するために、格納容器内部構造を考慮した評価には不向きである。そこで本研究では、主に遅い燃焼形態に分類される水素濃度条件に対して、実機格納容器の全体系で適用可能な解析手法の整備を進めている。本稿では、石油産業界等で適用実績を有する FLACS の活用として、実機格納容器体系を模擬した NUPEC 大規模燃焼実験を対象に適用性を確認したので報告する。

2. 解析モデル

FLACS では空間を三次元の直交格子で分割し、構造物は解析メッシュの空孔率を設定することで数値的に表現する。本解析モデルは、NUPEC 大規模燃焼実験装置の半裁形状を CAD で作成した上で FLACS に取り込み、FLACS 上で 0.1m 等間隔の 415,292 点メッシュに分割した。また、実験体系が有する多角形状の円環部は、既往の解析事例[1]を参照してドーナツ形状に近似した。燃焼は一段総括反応モデルと反応進行度変数の輸送方程式により表現される。乱流モデルには標準 $k-\epsilon$ 型乱流モデルを適用した。本解析は初期水素濃度が 5、8 及び 10% の場合の 3 ケースを対象とした。

3. 結果・考察

解析結果例として図 1 に初期水素濃度が 10% の場合の燃焼圧力の過渡変化を示す。赤線及び青線は、それぞれ FLACS による解析結果及び NUPEC 大規模燃焼実験での測定結果を表す。FLACS の解析結果は実験での測定結果に比べて約 25% 程度 (約 90kPa) 過大に最大圧力を評価した。燃焼開始に伴う圧力上昇から最大圧力に到達するまでの圧力の変化率は、よく一致した結果を得た。最大圧力を過大に評価する要因は、FLACS で燃焼を一段総括反応モデルで表現するため、着火の判定後の燃焼挙動において常に完全燃焼が起きる前提として取り扱われるためである。圧力の変化率は空間での燃焼挙動に依存するが、本解析で圧力変化が良好に一致した点は複雑な三次元構造を有する体系でも精度よく燃焼の伝播が取り扱われたことを示唆する。FLACS では燃焼伝播に寄与する層流燃焼速度を実験データテーブルで与えるため、本解析が対象としたような比較的遅い燃焼の伝播については良好な予測性を示すものと考えられる。なお、図中で見られる圧力の最大値を観測してからの減圧挙動が異なるのは、解析では外壁境界が断熱であるためエネルギー放出がないこと及び内部構造物も熱容量を有さないことが主な要因と考えられる。

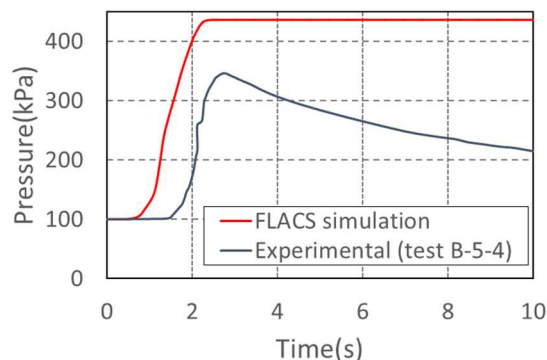


図 1. 水素燃焼に伴う圧力変化

4. 結論

本研究では、5%から 10%程度の低い水素濃度に対して、NUPEC 大規模水素燃焼実験を対象とした燃焼解析を実施し遅い燃焼形態に対する FLACS の適用性を確認した。その結果、FLACS により実験で観測された圧力応答の過渡変化を定性的に再現できることを確認した。最大圧力は解析では過大評価となり、扱った条件で最も水素濃度が高い 10% の条件で約 25% 程度過大に評価した。本稿で取り扱った水素濃度の範囲では実機格納容器体系を対象とした燃焼解析へ適用性があるものと考えられる。

謝辞 本解析では、(株)爆発研究所の吉田正典氏、石倉修一氏及び熊本竜也氏のご協力を頂いた。ここに謝意を表す。

参考文献

[1] OECD/NEA, NEA/CSNI/R(2000)7, pp5.92-5.96(2000).

*Takeshi Nishimura, Akitoshi Hotta

Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority(S/NRA/R)