

FDS による火災数値シミュレーション

山田英助* (一般財団法人日本自動車研究所)

Numerical simulation of fire with FDS

Eisuke YAMADA* (Japan Automobile Research Institute)

Key Words : Fire Dynamic Simulator, FDS, Bonfire, Tank, Heptane

1. はじめに

水素を燃料とする燃料電池車 (FCV) に搭載される高圧水素タンクの火災時の安全性を検証するため、火災を模擬した試験が実施されている。タンクの附属品である熱作動式の安全弁 (TPRD) は、火災時の温度上昇によって作動し、水素を放出してタンクの内圧を下げることでタンクの破裂を防止する。本研究では、タンクの火災試験を数値シミュレーションで模擬し、TPRD 近傍の温度上昇とタンク周囲の壁の影響を確認することで安全で有効な試験手法を調査することを目的とする。数値シミュレーションには米国の National Institute of Standards and Technology (NIST) でオープンソースとして開発されている FDS (Fire Dynamics Simulator) ⁽¹⁾ を利用する。

2. 火災数値シミュレーション

FDS は、流体を非圧縮性とみなせる火災現象を有限差分法ベースで解析する。FDS は直行格子のみしか扱えないので、複雑な形状を模擬することは出来ないが、火災による物体の消失や煙の挙動などが容易に解析できる。

本研究で模擬した高圧水素タンクの火災試験の概要を図 1 に示す。最下部の中心を原点とし、本来は円柱形状の水素タンクを角柱としてモデル化している。水素タンクは下部からヘプタンのプール火災により熱せられる。ヘプタンの反応熱は 364.9kJ/kg とし、総括反応モデルで解析する。初期条件として領域全体を温度 5°C の大気条件とする。計算開始とともにヘプタンの燃焼が開始し、火炎が成長する。タンクの両端 2 点を TPRD の位置として、周囲の壁が温度変化に与える影響を調査した。

火災の成長過程を経て、初期条件の影響がほぼ無くなり火炎が十分に成長した 10 秒後の温度分布を図 2 に示す。周囲の壁がない場合の (a) では、計算領域の中央部に火炎の生成による高温領域を確認できるが、タンク両端の TPRD の位置における温度上昇はほとんどない。一方、開口部が一つある壁でタンクを囲った場合の (b) では、 $z=0.4$ の平面上の温度が全体的に高くなっており、タンクの両端でも温度上昇が確認できる。また、(a) と比較すると火炎下部が奥方向に移動していることが分かる。中央の開口部から大気が入り込んで左右両側へ流れ、それに伴ってタンク両端で温度が上昇していると考えられる。

(b) の条件での TPRD の位置の温度は、計算開始 1 秒後に約 600K まで上昇し、約 3 秒後には 1000K を超え、約 5 秒後には乱流による温度の振動が確認できた。

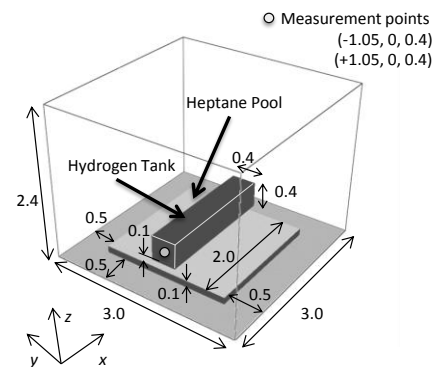


Fig. 1 Configuration of Bonfire Simulation (Unit: m)

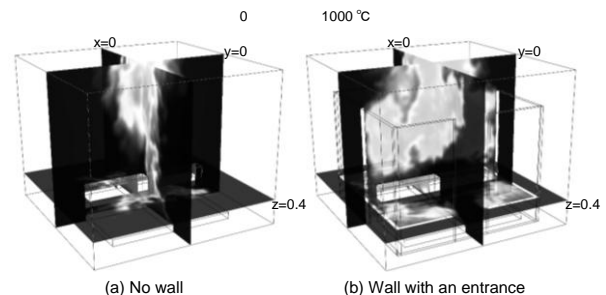


Fig. 2 Temperature distribution at 10 s

3. まとめ

タンクの火災シミュレーションを FDS で実施した。開口部のある壁をタンク周囲に設置することで、流れの状態が大きく変化することが確認できた。入口開口部からの大気流入により火炎はその流れに沿って奥の方向に移動し、その周辺に高温領域が形成される。TPRD の作動を促進させるためには、入口から離れた場所に TPRD を設置することが効果的である。

直行格子しか扱えない FDS では、円形などの構造を精度よく模擬することは困難であるが、今回のような数メートル規模の火炎と流れの状態を把握するには十分である。実際の火災試験の実施前、FDS で安全性の検証などに参考となる解析結果を得ることが可能である。

参考文献

- (1) FDS-SMV, <http://firemodels.github.io/fds-smv/>, (accessed 2015-10-22).