

計算科学グループにおける燃焼計算

Combustion Simulations at Computational Science Research Group

総合技術研究本部 計算科学研究グループ 燃焼・乱流セクション 新城淳史

J. Shinjo, Combustion and Turbulence Section, Computational Science Research Group, Institute of Aerospace Technology

Abstract

This paper briefly summarizes numerical simulations related to rocket combustion at Computational Science Research Group, Institute of Aerospace Technology. The first part describes the investigation of a supercritical hydrogen flame of rocket injector element. The flame and flame-holding structures are elucidated by this simulation. The second part examines the droplet breakup mechanism due to capillary force. The influence of ligament end is included for new modeling. These results will lead to combustor system simulation in the future.

1. はじめに

本稿は平成 17、18 年度に総合技術研究本部計算科学研究グループにおいて実施した燃焼関連の数値計算を概観し、今後の展開を述べるものである。特に、液体ロケットエンジン関連の燃焼については、エンジン性能に対する重要性の割にはその現象の複雑さゆえに理解が十分ではない。当グループでは数値計算を用いて燃焼に関連する現象の解明を進めている。

H-IIA の第一段エンジン LE-7A のような高圧のエンジンでは、液体酸素の臨界圧を超えているためいわゆる超臨界の状態になっている。このような状態での火炎構造の計算はあまり例がなく、火炎構造や保炎機構の解明はあまり進んでいない。ここでは、平成 17、18 年度に行った同軸型噴射器の単一エレメントを模して行った計算について述べる。

また、亜臨界のロケットエンジンや航空エンジンでは、液体燃料の微粒化がその性能に決定的な影響を与えるが、液体の微粒化についてはいまだに分かっていないことが多い。当グループではその中でも噴霧計算コードの流入条件になる 1 次微粒化のモデル化を行うことを目標に、有限長の液糸の端面での不安定性発現に対する表面張力の作用に注目して解析を行っている。ここでは、名古屋大学との共同研究として行っている研究の平成 18 年度の解析結果について述べる。

2. 研究の概要

超臨界燃焼では、火炎構造の詳細と LOX ポスト付近での保炎構造について調べた。また、微粒化の計算では、表面張力波の特性と端面での分断機構について調べた。

3. 研究の成果

まず超臨界の火炎に関する計算について述べる[1]。模擬した噴射器は、同軸型噴射器で、内径 1mm の中心管からは LOX を噴射する。その周りに内径 1.6mm、外径 3.9mm の GH₂ 噴射管がある。LOX と GH₂ の間の噴射管厚みの部分は LOX ポストと呼んでいる。噴射条件は LOX が噴射速度 30m/s、噴射温度 100K であり、GH₂ が噴射速度 300m/s、噴射温度 300K である。超臨界状態のため、LOX と GH₂ は単一相的に取り扱う。化学反応系は Petersen-Hanson の反応式、状態方程式は Soave-Redlich-Kwong 状態方程式を用いた。計算は軸対称として行った。

図 1 に、ある瞬間の温度場を示す。y 座標は中心軸を原点としている。火炎は LOX ポストの背後から形成され後部に向かって伸びている。LOX と GH₂ の間には、せん断層の不安定性から渦が放出されており火炎はその影響を受けて形状が変わる。しかし、消炎が起きるほどスカラー散逸率は強くなく、火炎垂直方向の構造はほぼ 1 次元拡散火炎の構造をしていることが分かった。

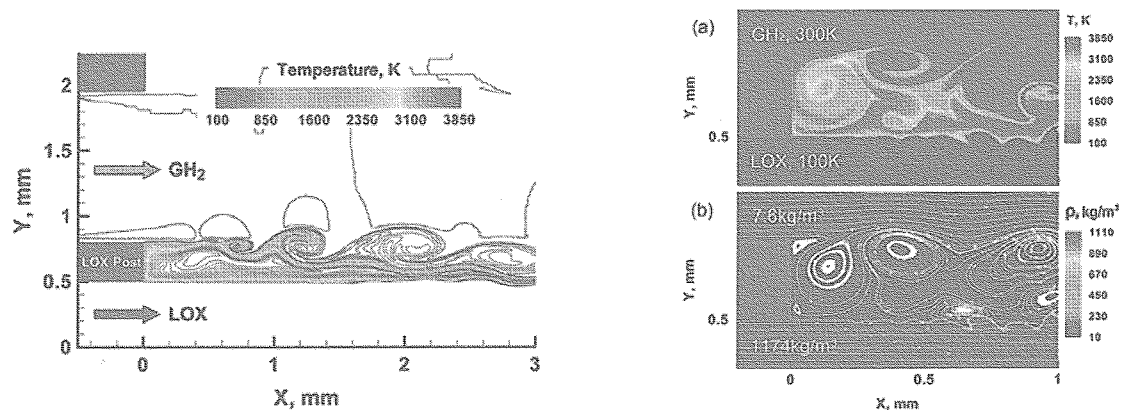


Fig. 1 Instantaneous flow field.
Global structure (left) and close-up view around the LOX post (right)

図1にはまた別の瞬間のLOXポスト付近の拡大図を示す。ポスト背後には循環流が形成され、局所速度が遅くなっている。壁面は300Kの等温壁であり壁面への熱流束と壁面での再結合による発熱がバランスして火炎が保持されている。

この流れ条件では局所消炎は観察されず、したがって、LOXポストのごく近傍を除けば1次元拡散火炎としてモデル化できることがわかった。複数の噴射器を含む燃焼器の解析は直接計算では不可能であるが、1次元火炎モデルを組み込んだ解析で現象を模擬できることがわかった。

次に、亜臨界下での液体燃料の微粒化の解析について述べる。従来の無限長の安定性解析とは異なり、液系に端面が存在する場合には端面の変形が自らの不安定性の原因となり更なる分断を引き起こすというサイクルを形成していることがわかった[2-4]。図2には、対応する実験[3]と同じ条件で70気圧の窒素中にSF₆を0.1m/sで噴射したときの液面の変形の様子を示す。端面の分断により表面張力波が形成され、それが分断を引き起こし、また表面張力波が放出される。この機構には気液の速度差と粘性が影響しており、モデル化の際の重要な知見になる。

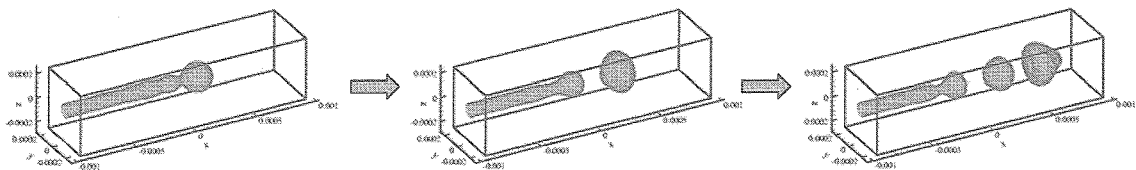


Fig. 2 Ligament breakup cycle due to capillary force

4. まとめ

燃焼関連の計算についてその結果を概観した。火炎構造や微粒化プロセスのように要素についての知見が得られている。今後は、モデル化を高度化し燃焼器システムのような実スケールの計算に応用していく予定である。

5. 参考文献

- [1] S. Matsuyama et al., Journal of Propulsion and Power (submitted)
- [2] 新城他、日本航空宇宙学会誌 (投稿中)
- [3] A. Umemura, Y. Wakashima, Proc. Combust. Inst., 29, 633-640 (2002)
- [4] 梅村、日本マイクロ重力応用学会誌、21, 293-299 (2004)