

音場での燃焼機構解明研究チーム活動報告

日本大学 田辺光昭 宇宙航空研究開発機構 岡井敬一 室蘭工業大学 廣田光智
九州大学 森上 修 ブレーメン大学 (ZARM) Konstantin Klinkov, Christian Eigenbrod

Activity Report of Research Team for Investigation on Combustion Mechanisms in Acoustic Fields

Mitsuaki Tanabe¹, Keiichi Okai², Mitsutomo Hirota³, Osamu Moriue⁴, Konstantin Klinkov⁵,
Christian Eigenbrod⁵

1: Nihon University, 2: Japan Aerospace Exploration Agency, 3: Muroran Institute of Technology,
4: Kyushu University, 5: ZARM, Bremen University
E-Mail: tanabe@aero.cst.nihon-u.ac.jp

Abstract: The research team work for the near-future microgravity experiments on the combustion experiment in acoustic field, part of which requires long-term microgravity conditions. The current activity is focused on the development of experimental devices for the shared apparatus that is under development in cooperation with “the research team on ignition and combustion at high pressures with a shared apparatus for microgravity experiments”. A feasible schlieren optics arrangement for the apparatus is presented as well as concise result on the combustion experiments in acoustic field.

Key words: Space Utilization, Convection, Acoustics, Combustion

1. 研究チームの概要

ロケットエンジンやジェットエンジンなどの燃焼器において問題となる燃焼振動などの音響振動場での燃焼について、これまでに、研究が実施されてきているが、噴霧火炎の伝播に関わる燃料液滴の自発点火現象と、音場での燃焼による2次流れについては、浮力対流が機構解明の障害となることが知られている。本研究チームは、このような音場での燃焼機構の解明に微小重力実験を有効活用することを目指している。ブレーメン大学 ZARM で行われてきた DLR Research under space conditions – ground based research (FY2005-2008)と日本大学で行われてきた JSF 公募地上研究 (FY2006-2008)を基礎として、それらをより発展させるべく、2008 年度から活動を開始した。2009 年度については、音場での液滴の自発点火研究における数値計算の研究者と、実用バーナにおける音場の効果の研究者を加えて、より幅広い実験を視野に入れて活動している。2009 年度の研究チームの活動では、個々の研究テーマを進めると同時に、宇宙実験を視野に入れた装置開発を進めることを目的とした。装置開発に際しては、「共通微小重力実験装置を用いる高圧環境下における点火・燃焼研究チーム」で開発中の高圧容器を JEM の多目的ラック用の燃焼実験チャンバ内で使用する際に内部に搭載可能な小型の光学系を開発する。本報では、光学系開発状況と、音場燃焼に関する研究の経過報告を行う。

2. 共通微小重力実験装置の光学計測系開発

燃焼実験チャンバ (CCE) への搭載を考慮し、共通微小重力実験装置用光学計測系を設計した。図2に高圧容器中央での断面図と光学要素の配置を示す。シュリーレン光学系が搭載できれば、その光学要素の組み合わせで直接・影・シュリーレンの3種類の観察方法が選べる構成となる。光学系のモジュール化を想定し、光路は反射型とし、光源とカメラを含む光学要素のほぼ全てが容器のフランジ1面に取り付け可能とした(図1)。この設定のシュリーレン像の感度は実験で確認済みで、実装状態での試験を2009年度末に実施予定である。

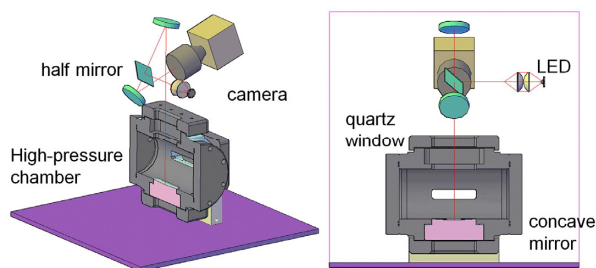


Fig. 1 Schematic of the schlieren optics assembled on the pressure chamber of the shared apparatus.

光学系と同時に、取得したシュリーレン像の解析プログラムも開発を続けている。図3に共通微小重力実験装置の高圧容器で取得した予混合火炎のシュリーレン像と、開発した Mathematica プログラム

で横方向の火炎面位置の時間変化を自動検出した結果を示す. 音の無い場では球状火炎伝播となるが, 音場においては, 縦方向と横方向の2次流れにより, 火炎が変形した. 検出した横方向の火炎の移動からは, 左方向 (節方向, Flame position で正の方向) に選択的に火炎伝播が起こることが確認できる.

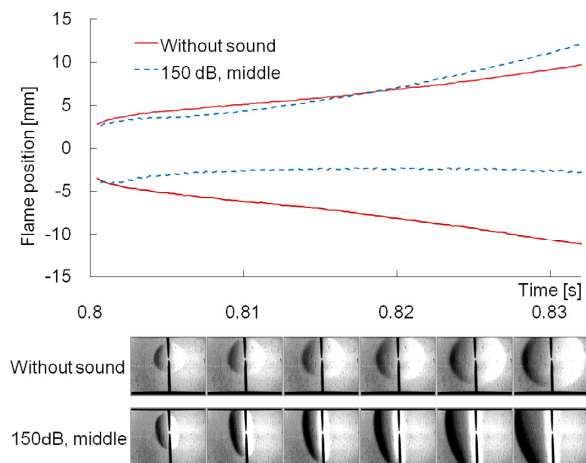


Fig. 2 Sequential schlieren image of premixed flame and flame position as a function of time (methane-air; equivalence ratio = 2.0)

3. 音場燃焼に関する研究進捗

3. 1. 音場での燃焼で生じる2次流れ

これまでの研究から, 定在音場での燃焼時に2種類の2次流れが生じることが分かってきている. このうち, 定在音場の速度振動の腹から節へ向かう2次流れは, その駆動力 F として密度差 $\Delta\rho$ と体積 V を用いて, $F = \Delta\rho V \alpha g_a$ で表せると考えている¹⁾. ここで, αg_a は音場の粒子速度の自己相関の空間勾配で加速度の次元を持つ. この駆動力は一種の音響放射力である. 密度差と加速度に比例する体積力であり, 浮力と同形であるので, 2次流れは浮力対流と類似した流れである. 加速度項は定在音場の腹と節の中間で極大となる. 音場では, このほかに, 音の波面方向に2次流れが生じる. これについては性質が不明であり, 数値計算により調査した. 図3は定在音場中で空気を局所的に加熱または冷却した際に生じる2次流れをFDTD (Finite Difference Time Domain) 計算²⁾で再現した結果である. 腹と節の間では加熱か冷却かにより, 周囲空気との密度差の正負が変わるため, 逆向きに横方向の2次流れが生じる. このように密度差に比例した駆動力で説明できる流れであることから, 実験検証に微小重力場の利用が望まれる. これに対し, 腹での縦方向への拡がりや, 加熱と冷却で同じであり, 違う性質をもつことが分かる. 現在も応力解析を行って, 駆動機構を検討中である.

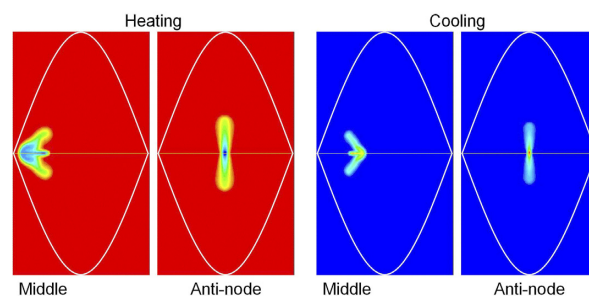


Fig. 3 Secondary flow patterns of local heating and cooling at the two locations in standing acoustic field. (FDTD; density distribution)

3. 2. バーナ火炎に及ぼす超音波の影響

予混合バーナ火炎に超音波を印加した際に, 希薄可燃限界が変化することが分かってきている. このバーナ火炎の火炎形状の変化についても, 音響放射力の影響で説明可能であり, 2次流れに関する知見が可燃範囲拡大の機構解明に関連すると期待できる. 本年度は吹き飛び限界付近の火炎の構造をアセトン・OH 同時 PLIF (図4) によって可視化した. 音を印加した場合に発光の無い部分の幅が広がっていることが分かってきており, 詳しい分析を実施している.

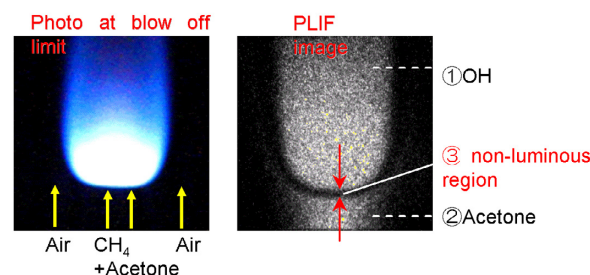


Fig. 4 Direct and acetone-OH simultaneous PLIF images of premixed burner flame with acoustic field.

4. まとめ

共通微小重力実験装置用のシュリーレン光学系開発を行い, 所定の感度の可視化が実現可能であることを確認した. 自動解析プログラムについても, 音場燃焼の解析につき, 動作を確認した.

音場での燃焼につき, 音波面方向への2次流生成機構とバーナ火炎の構造に関する知見を得た.

参考文献

1. M. Tanabe et. al. Proceedings of the Combustion Institute, 30 (2005), p. 1957.
2. T. Yano et. al., Microgravity Science and Technology, in press, (2009).