

音場での燃焼機構解明ワークショップ活動報告

日本大学 田辺光昭 宇宙航空研究開発機構 岡井敬一

ブレーメン大学 (ZARM) クリスチャン・アイゲンブロット

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

Mitsuaki Tanabe¹, Keiichi Okai², Christian Eigenbrod³

1: Nihon University, 2: Japan Aerospace Exploration Agency, 3: ZARM, Bremen University

E-Mail: tanabe@aero.cst.nihon-u.ac.jp

Abstract: Understanding the mechanism of the interference between combustion and acoustic oscillation is required for a safer combustor development. Through numerous drop tower experiments, it has been clarified that the suppression of natural convection significantly contributes to quantifying the interference. The working group is organized to make a research team and plans for near-future space experiments on the specific topic which requires long term microgravity conditions. As the first step of the activity, a concise classification of the past microgravity experiments in this topic and the recent result is reported.

Key words; Space Utilization, Convection, Acoustics, Combustion

1. WG の概要

音場での燃焼機構解明は、ジェットエンジンやロケットエンジンなどの高負荷の連続燃焼器で問題となる振動燃焼の予測や抑制方法の開発に必要とされている。実際に燃焼器で観察される強い音場での実験は危険なこと、安全に実施できる弱い音場での実験では、音の持つ擾乱の影響が自然対流によって隠れてしまうことを考慮し、微小重力実験が有効となる。機構解明を目的とした微小重力実験は2000年前後に開始され、現在まで続いている。これまで複数の機関で個別に実施されてきたが、基礎的な実験の技術が確立しつつあることを受け、音場燃焼に関する実験を統括的に議論できる場が求められている。このため、新たにこのワーキンググループを立ち上げ、本年度から活動を開始した。ワーキンググループでは、限られた実験リソースを有効活用し、音場燃焼の微小重力実験の効率的な実施とさらなる成果創出を目指し、議論を行っている。本年度は活動の初年度であり、これまで実施してきた微小重力実験の成果(本年度実施中の研究成果も含む)の総括・分類、さらに今後の発展的な実験提案に向けた研究の方向性を取りまとめることが課題であり、その検討内容をここに報告する。

2. 音場燃焼に関するこれまでの落下塔実験

音場燃焼に関する落下塔実験は日独米の3カ国で実績がある。主な落下塔実験を表1にまとめる。これらのうち#1は既に終了しているが、それ以外は2008年度にも新しい成果を創出しているものである。ただし、#4は本年度でプロジェクトは終了

し、#3も本年度からはテーマ独自の研究資金はなく関連テーマの予算にて研究遂行する予定である。

Table 1 Drop-tower experiments on combustion in acoustic fields (1999 -)

#	Research Inst.	Drop-tower	Fund
1	Univ. Tokyo, UCSD	Univ. Tokyo / GRC	JSUP(NEDO)
2	UCLA	GRC	GRC(NASA)
3	ZARM	ZARM	DLR
4	Nihon Univ.	Nihon Univ. / MGLAB	JSF(JAXA)

これらの落下実験を内容で分類すると、音場の持つ3種類の特性に着目して研究が進められていることがわかる。それぞれのプロジェクトはこれまで直接の連携はないものの、文献引用によって成果が共有されている。表2にそれぞれの研究の着目点をまとめる。

Table 2 Scope of the each project listed in Table 1

#	Velocity oscillation	Pressure / Temp. oscillation	Acoustic streaming
1	○		(○)
2	○		(○)
3		○	
4			○

これら4つの研究グループに共通するのは液滴燃焼を基礎として、発展した研究であるという点であ

る。まず、流速振動に着目する研究では、音の粒子速度で振動する振動流れの伝達促進効果が主として取り扱われている。また、音の圧力振動/温度振動の影響については、それらに非線形に応答する化学反応の促進効果の評価が主である。音響流に着目した研究は、燃焼器破壊をもたらすような強い定在音場に固有の音響流の対流伝達促進効果を評価するものである。#1, 2については音響流の欄を括弧書きとしたのは、これらの研究で音響流を評価に用いているが、主たる着目点は速度振動の方であることによる。特に#2 で実施された音響流の影響評価は#4 の追試となっている。

3. ワークグループ内の研究進捗状況

ブレーメン大学 ZARM で行われてきた DLR Research under space conditions – ground based research ”Experimental and numerical investigation on the self-ignition of fuel droplets with respect to thermo-acoustic effect” (FY2005-2008)と日本大学で行われてきた JSF 公募地上研究「定在音場のレイノルズ応力を受ける火炎の挙動」(FY2006-2008)は共にこれまでの落下実験(図1に装置を示す)の成果について最終報告をまとめ、提出した。

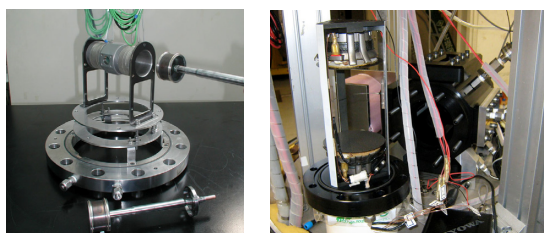


Fig. 1 Experimental modules (left: ZARM high-pressure high-temperature vibrating piston-cylinder system, right: MGLAB high pressure chamber with loud speaker system.).

ZARM においては、高温高压の雰囲気をもつピストンシリンダ系に封入し、ピストンを動かして容積を変化させることで、圧力・温度変動を生じさせる。その中で液滴の自発点火の誘導期間を実験的に求めている。また将来的な応用を見越して数値計算モデルを作成し、実験結果と比較した。図2に示すように、わずかな温度変化でも自発点火に影響を与えるものであるとわかる。また、振動の周期と着火遅れがほぼ等しい場合に音場の影響が最も強いことも判明している。

日本大学では、火炎伝播に及ぼす音響流の影響を調べてきた。燃焼に伴う密度変化によって、音響流が発生し、火炎の伝播速度に変化を与えることが判明している。また、この研究においても数値計算に

よってその挙動の予測が試みられている。この研究においては詳細な直接計算と共に、簡易計算モデル構築の試みも実施したが、現状では直接計算のみで実験結果とのよい一致を得られている。図3に実験で得た火炎の連続写真と数値計算結果を示す。音響流の影響により、左(定在音場の速度振動の節)方向への火炎伝播が速く、右(同、腹)方向へはほとんど伝播しないことが分かった。

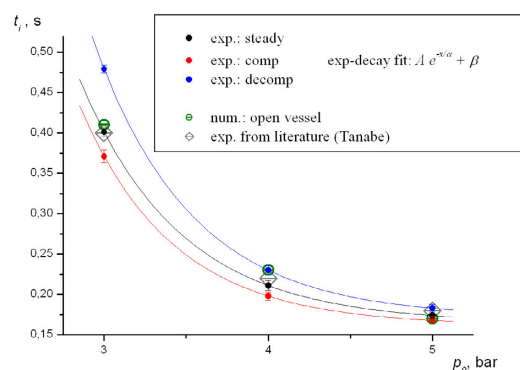


Fig. 2 Effect of an acoustic standing wave on the induction time of a single *n*-heptane droplet. $T=700\text{K}$, $D_0=700\mu\text{m}$, $\Delta T_{\text{acoustic}}=8\text{K}$.

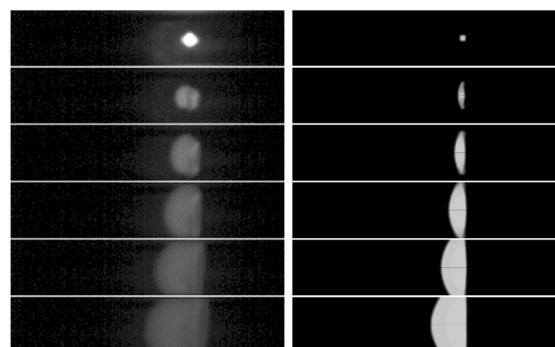


Fig. 3 Propagating flame in standing acoustic field. Spark ignited ethane-air pre-mixture, equivalence ratio = 1.7, $f = 3\text{ kHz}$, $\text{SPL} = 150\text{ dB}$ (left: experiment, right: numerical simulation).

4. まとめ

現在までに音場燃焼に関する研究内容の整理を行い、日本では音響流、米国では速度振動、ドイツでは圧力・温度振動の影響を現状の研究課題に上げて実験が行われていることを確認した。

本年度終了するワークグループ関連の研究プロジェクトの最終報告書を完成し、成果をまとめた。

次段階として、複数の研究課題案を持ち寄って議論を継続中である。研究内容の精査を行い、次年度以降の新たな研究提案に向けて引き続き活動していく予定である。