

振動燃焼制御実証器の構築 —— 系の音響特性の把握と要素技術の特性評価

Development of demonstration combustor for the control of combustion oscillation

—— Acoustic modes of the system and characteristics of the components

宇宙航空研究開発機構 立花 繁, Laurent Zimmer, 山本 武, 黒澤 要治, 吉田 征二, 鈴木 和雄

1. はじめに

本研究の目的は、これまでに乱流燃焼制御班各グループで実行されてきた要素技術研究の成果を集約し、能動制御によって、広い作動範囲で安定かつクリーンな燃焼を実現する燃焼制御実証器を構築することにある。実証器には、ハブ部に2次燃料噴射孔を備えたスワロー保炎器を採用した。アクチュエータとして2次燃料噴射（サイクル噴射、高速噴射など）を用い、センサーには、圧力センサーと自発光センサーを併用することを目指している。制御のターゲットとして、まず第一に、比較的高い当量比側で発生する振動燃焼を抑制することと定めた。本報告では、燃焼制御実証器の音響特性と要素技術（自発光センサー）の適用可能性について報告する。

2. 燃焼制御実証器の音響特性

最終的に目的とするのは、燃焼器入口温度 $T=700\text{K}$ 、スワロー断面流速 $U=90\text{m/s}$ 付近における振動燃焼制御であるが、その第一ステップとして、 $T=500\text{K}$ 、 $U=12\text{m/s}$ を対象とした。図1,2にメイン予混合気のみによる燃焼条件（2次燃料噴射なし）における系の音響特性を示す。振動燃焼は、当量比 ~ 0.66 付近で発生する。200Hz付近にある最大ピークが、燃焼室（ $L=810\text{mm}$ ）の1/4音響モードに対応し、600Hz付近に分布するピークはその3倍波となっている。400,800Hz付近にあらわれるピークは、1/4音響モード波形の歪みに起因する高調波に対応すると考えられる。次に、 CH^* 強度は発熱率変動をあらわし、自発光（レンズ集光）の計測体積中で圧力変動は等しい、との仮定のもと、 CH^* 強度変動と圧力変動の相関を振動の1サイクルあたりについて積分し、レイリー積分を求めた。 p'_{rms} とレイリー積分が同じ傾向を示すことからこの振動は熱-音響不安定性に起因していることがわかる。

3. 自発光センサーの適用可能性

自発光センサーの振動燃焼制御への適用可能性を調べるために、 $p' \cdot q'$ 相関と圧力変動を2つの積分時間について計算した結果を図3に示す。ここで、0.05, 0.1秒はそれぞれ、1/4モードの10サイクル、20サイクルに対応している。図中には積分値を単位時間あたりの値で示している。両者の立ち上がりが同一の傾向を示すことから、自発光センサーがリアルタイム振動燃焼センサーとして適用可能性を備えていると言える。

4. 今後の課題

作動条件を変えた時の系の音響特性調査、アクチュエータの特性試験、制御の適用を平行して行い、作動条件を最終目的に近づけていくことが今後の課題となる。

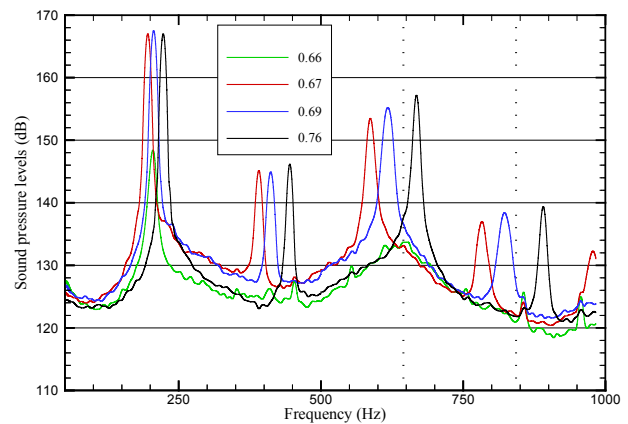


図1. 圧力変動のパワースペクトル

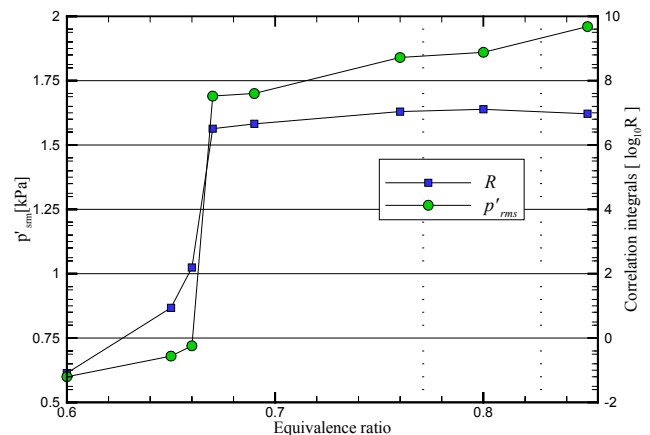


図2. 圧力変動(p'_{rms})とレイリー積分

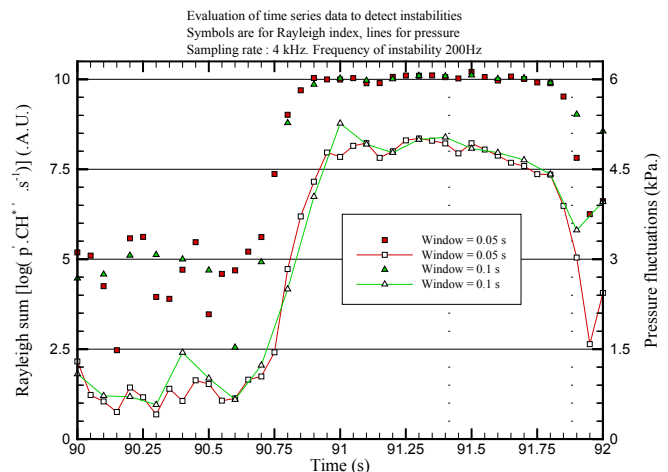


図3. $p' \cdot q'$ 相関積分の時系列変化