

発熱量の変動が燃焼振動に与える影響の数値解析

The effect of heat release rate fluctuations on combustion dynamics

宇宙航空研究開発機構 情報技術開発共同センター
新城淳史、溝渕泰寛、小川哲

1. はじめに

希薄予混合燃焼器内では圧力と発熱のカップリングにより燃焼振動が持続されており、前回のシンポジウムではそれを CFD 的に実証した。このような燃焼器内の振動を抑制するためには、圧力場あるいは発熱場を制御により変えることになるが、我々は実用上の観点から燃料を能動的に噴いて発熱場を変えることによる制御を目指している。

現在、2 次噴射制御用の燃焼器の試験が始まったが LES を基にした数値計算でも燃焼制御メカニズムの解明を目的として流れ場の解析を行っている。ここでは、まず予備計算として予混合気の当量比の時間変動によって起こる発熱場の変動が振動にどう影響するかを解析する。これはある位相差で流入予混合気に濃淡を付けている受動制御に対応している。次に、現在実験で試験中のモデル燃焼器を対象に流れ場の解析例を示し、2 次噴射の解析へ向けた結果を示す。

2. 手法および結果の概略

これまでの計算では、場全体を通して当量比が一定であると仮定してきた。これに空間的・時間的な濃淡の影響を含めるために燃料と空気の混合比に相当する混合分率の式を新たに導入する。予混合気の濃淡は燃焼速度および反応生成熱に影響するため濃淡の分布によって燃焼器内の発熱分布が変わることになる。

2. 1 当量比変動の影響

予備計算として前回シンポジウムの結果に供給系からの燃料・空気比の変動を含め、それによる当量比の濃淡の影響を調べる。ここでは燃焼器内の圧力によって燃料・空気の流量が変わるとモデル化する。ただし供給口での混合は瞬時に起こるとする。平均の流入速度が同じなら供給口から燃焼器内の火炎までの対流時間によって圧力振動との位相差が決まる。したがって、供給管の長さを変えることによって順または逆の位相の受動制御をしていることになる。燃焼器長さ 0.3m のスワラ燃焼器で、予め基本周波数が 4 分の 1 波長モードであることを確認して対応する供給管長さを 1 波長分変化させた。流入気流は、1 気圧、400K、30m/s、当量比 0.6 を平均にした。

図 1 に供給管長さを変えた時の燃焼器内の振幅の変化を示す。横軸の供給管長さは 1 周期の対流時間に相当している。これによれば、対流によって燃焼器内の火炎まで流された予混合気の作

り出す熱がそこでの圧力振動に同期していれば振幅が増え、位相がずれていれば振幅が減ることがわかる。この傾向は Rayleigh の条件から導かれる Time-lag 理論とよい一致を見せている。

燃焼器内の当量比を時間的に変えることによって発熱を変え、振動とのカップリングを変えることができることは本計算でわかった。ただしこの手法では特定の周波数にしか対応できないため実際に効果的な方法として使うのには限界があり能動制御を行う必要がある。

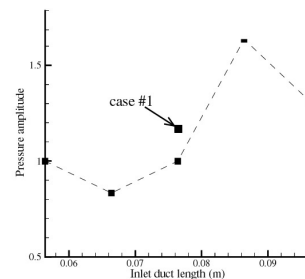


図 1 供給管長さと燃焼器内振動の振幅

2. 2 モデル燃焼器への適用

実験の方で試験が開始されたモデル燃焼器の流れ場を解析する。現在のところ、2 次噴射を含んだ解析はまだ行っていないが、燃焼流れ場の解析を進めている。例として燃焼器長さ 0.21m、流入気流条件 1 気圧、700K、当量比 0.5、15m/s での燃焼器内の振動の様子を図 2 に示す。まだ計算時間が多少短い 4 分の 1 波長モードに対応する振動が出てきている。実験では燃焼器ダクトを長くしたケースも行っており対応した計算を行うことと 2 次燃料噴射を含む計算を今後進めていく。

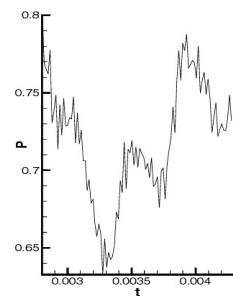


図 2 燃焼器内の圧力履歴の例

3. まとめ

振動が起きている燃焼器において、予混合気の濃淡を変えることによって発熱場を変えると位相差によって振動とのカップリングを変えられることを確認した。これを踏まえ、モデル燃焼器では能動制御を組み込んだ計算を行いメカニズムの解明を行う予定である。