

CH/OH PLIF による乱流火炎計測と燃焼騒音特性

CH/OH PLIF Measurements of Turbulent Flames and Characteristics of Combustion Noise

東京工業大学大学院 宮内, 店橋
航空宇宙技術研究所 崔
海上技術安全研究所 岸, 井亀, 平岡, 春海, 岡

1. はじめに

安定な超希薄燃焼を実現し, 高効率・低環境負荷燃焼器を開発するには, 希薄予混合燃焼の際に問題となる燃焼騒音や振動燃焼等を予測し, それらを制御することが重要となる. 本研究では, 平面レーザ誘起蛍光法(PLIF)による CH ラジカルと OH ラジカル の同時計測法を確立し, 火炎構造と燃焼器の燃焼騒音及び振動燃焼特性との関係を明らかにし, それらに基づく燃焼器制御手法を確立することを目的としている. DNS による反応性乱流における音の発生機構に関する研究から, 化学反応に伴う発熱がある場合, Lighthill の音源項のエントロピー成分が支配的であり, Reynolds stress 成分と粘性成分の寄与は小さいことが明らかにされている. さらに, 主音源となるエントロピー項は発熱量変動と良く一致すること, 熱発生率分布と CH ラジカル分布が良く一致することが明らかにされている. 本研究では, CH/OH の PLIF 計測からモデル燃焼器における発熱量変動などに関する知見を得, それらと乱流燃焼騒音との関連を明らかにする.

2. CH/OH PLIF による乱流火炎構造の計測

乱流火炎の構造解明及び乱流燃焼場における熱発生率変動を見積もるために, 昨年度は定常層流火炎及びセル状層流火炎において CH ラジカル の PLIF 計測を行い, 当量比の違いによる CH 濃度の変化を CH-PLIF により計測できること, 空間的に変動する火炎面を CH-PLIF により捕らえることができることを明らかにした. 本年度は CH ラジカルと OH ラジカル の同時 PLIF 計測法を確立し, それらを本年度作成したスワール燃焼器に形成される乱流予混合火炎に適用した. 計測は二つのレーザ・システムと2台の CCD カメラを同期制御することにより行った. CH-PLIF 計測では, 励起バンドとして 390.30nm 付近の $B2\Sigma^- - X2\Pi(0,0)$ 振動バンドの $Q1(7,5)$ 吸収線を, 検出バンドとして 420-440nm の $A-X(1,1)$, $(0,0)$ バンド及び $B-X(0,1)$ バンドを利用した. レーザ・システムは XeCl エキシマ・レーザと色素レーザから構成され, 約 23-25mJ/pulse のパルス光を発振する. OH-PLIF 計測システムは, Nd-YAG レーザと色素レーザからなり, 282.93nm(5mJ/pulse) のパルス光による $A-X(1,0)$, $(0,0)$ バンド($\lambda=306-320\text{nm}$)からの OH 蛍光を計測した.

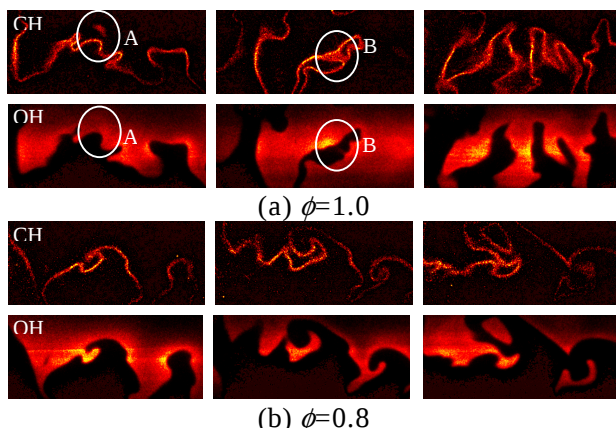


図1 スワール燃焼器における CH/OH 同時 PLIF 計測

図1は予混合気の流量を 300[l/m]とした場合の OH ラジカルと CH ラジカル の同時 PLIF 計測結果を示している. 図示した結果は, 平均操作を施さない 1 shot の計測結果であり, 瞬時の乱流火炎の様子を示している. 計測領域における非燃焼時の熱線流速計による速度計測結果から, $u'_{rms}=1.60[\text{m/s}]$ であり, テイラー・マイクロスケールに基づくレイノルズ数は 85.8 である. また, PLIF 計測の空間分解能は 32 μm であり, コルモゴロフ・スケール(49 μm)と同程度である. 本研究で計測の対象とした火炎は, 乱流燃焼ダイアグラム上では corrugated flames の領域に分類される. 火炎面の大きな湾曲は積分長程度であり, 小さな凹凸はテイラー・マイクロスケール以下である. また, 当量比が 0.8 の場合, テイラー・マイクロスケール以下の小さな火炎面の凹凸が減少する傾向にある. OH ラジカル の分布は既燃ガスを表すが, OH ラジカルでは計測できない火炎面の複雑な構造が CH ラジカル の PLIF によって計測されている. 図中の A の領域は, 乱流予混合火炎の DNS で明らかにされている既燃ガス中の未燃予混合塊あるいは handgrip 構造に, B の領域は未燃予混合気中に取り込まれた既燃ガス塊に対応する可能性がある. さらに, $\phi=1.0$ と $\phi=0.8$ の両条件において, 時刻によって火炎面全体がノズル出口から離れたり, 火炎面の凹凸が減少する場合がある. これらの火炎面の大域的な挙動は下記の燃焼器内の圧力変動と関連している可能性がある. 今後は, 圧力信号との同期計測を行い, CH ラジカル分布から予測される音源の特性と燃焼器内圧力変動の関係を検討する.

3. スワール燃焼器の圧力変動特性

図2は, 予混合気の流量を 300[l/m]としたスワール燃焼器内の圧力変動のパワー・スペクトルを示している. 当量比が低い場合($\phi=0.6$), 燃焼器内の圧力変動は比較的小さく明確な支配的周波数も観察されない. 当量比が 0.8 を超えると急激に圧力変動レベルは上昇するが, 当量比が 1.15 を超えると圧力変動は再び低下する. この圧力変動が上昇する当量比範囲で, 圧力変動のパワー・スペクトルは 120 ~ 130Hz の鋭いピークを示す. この周波数は, 燃焼器内の温度を一定と仮定して近似的に算出される固有振動周波数 132Hz とほぼ一致している. 今後は, 圧力変動と上述の火炎面の大域的な特性との関係を明らかにするとともに, 昨年度検討した二次燃料噴射による圧力変動及び燃焼騒音制御を行う予定である.

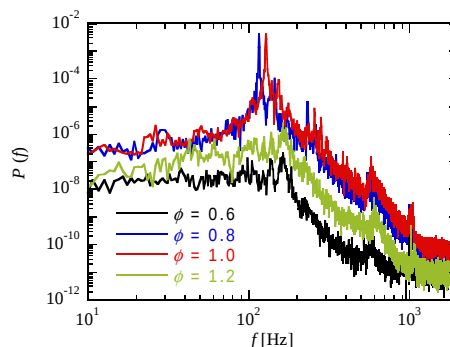


図2 スワール燃焼器における圧力変動スペクトル