B111 CH Double-Pulsed PLIF による乱流予混合火炎の高時間分解能計測

高 翔平[○](東工大院), 店橋 護(東工大院), 宮内 敏雄(東工大院)

Time-Resolved Measurement of Turbulent Premixed Flame by CH Double-Pulsed PLIF

Shohei TAKA, Mamoru TANAHASHI and Toshio MIYAUCHI

ABSTRACT

CH double-pulsed planar laser induced fluorescence (PLIF) measurements have been developed to investigate the dynamics of the flame elements in turbulent premixed flames. The time-resolved measurements of flame fronts were conducted in relatively high Reynolds number turbulent premixed flames stabilized in a swirl combustor. By selecting appropriate time interval of successive CH PLIF, movement of the flame front was captured clearly. In addition, by applying cross-correlation method for successive CH images obtained with minute time interval, displacement speed of the local flame element was measured.

Keywords: Time-Resolved PLIF, Turbulent Premixed Flame, Flame Displacement Speed

1. 緒 論

乱流燃焼モデルにおいて、局所火炎要素の動的特性のモデル化は、乱流燃焼速度の予測精度等に大きな影響を及ぼす。Flamelet モデルでは、局所的な火炎要素の移動速度を火炎要素の曲率及び火炎面に作用する接線方向歪み速度の関数として表現するが、それらの関係を直接実験的に検証した研究は殆ど存在しない。

乱流火炎の火炎構造を計測する方法として、中間生成物等の平面レーザ誘起蛍光法(PLIF)が頻繁に用いられている。CH ラジカルは火炎面近傍にのみ存在し、火炎面において鋭いピークを示す特性があるため、CH ラジカル PLIF により火炎面の二次元断面形状を計測することができる^{1,3)}。しかし、通常の PLIF 計測の時間分解能は低いため、乱流中の火炎面の非定常特性を検討することはできない。そこで本研究では、微小時間間隔異なる火炎面情報を計測可能な CH double-pulsed PLIF 計測法を確立し、それをメタン・空気乱流予混合火炎に適用することで、局所火炎要素の幾何学的特性と動的特性の関係等を明らかにすることを目的としている。

2. CH double-pulsed PLIF 計測システム

本研究で用いた CH double-pulsed PLIF 計測システムの概略を図 1 に示す。CH の PLIF 計測には、励起バンドとして 390.30nm 付近の $B^2\Sigma^- - X^2\Pi(0,0)$ 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)バンドと B-X(0,1)バンドを用いた。レーザ・システムは XeCl エキシマ・レーザ(Lambda Physik, LPX110)と色素レーザ(Lambda Physik, Scanmate2,

BiBuQ), Nd:YAG レーザ(Spectra-Physics, Quanta Ray PRO-110)と色素レーザ(Sirah Precisionscan, Exalite389)から構成されており、それぞれのレーザ・システムは約 18mJ/pulse と約 20mJ/pulse のパルス光を発振する。それぞれのレーザ光は、偏光ビームスプリッターにより同一光軸上に導かれ、レーザ・シート生成光学系によりシート光となる。CH ラジカルは、光学フィルタ(SCHOTT, KV418)を用いて背景光を除去した後、望遠レンズ(Nikon, Micro-nikkor)を装着した 2 台の ICCD カメラ(Andor Technology, iStar)により計測される。2 台の ICCD カメラの光軸はレーザ・シートと直交し、バーナに対して対向するように配置した。

レーザ及びカメラのタイミング制御にはディレイ・パルスジェネレータ(SRS, DG535)及び ICCD カメラ内部のディレイジェネレータが用いられており、連続する CH PLIF の時間間隔 Δt は任意に設定することができる。本研究では、時間間隔 Δt を 30~200 μ s に設定した。また、カメラの露光時間は事前の計測結果から S/N 比が最大となる 30ns に設定した。

Fig. 1 Schematic of CH double-pulsed PLIF system.

3. 実験条件

実験はスワールバーナ上に形成されるメタン・空気乱流予混合火炎を対象とし、流量 200ℓ/min, 250ℓ/min 及び 300ℓ/min で当量比 $\phi=1.0$ の条件について行った。表 1 に計測領域中心位置における非燃焼時の乱流特性を示す。CH PLIF のレーザ・シート光の厚さは約 200 μm 、計測領域は 30mm $\times$ 30mm とした。

4. 計測結果

図 2 は当量比 1.0, $Re_\lambda=63.1$ の条件で計測した連続する CH ラジカルの蛍光強度分布を示している。図 2 に示した CH ラジカルの蛍光強度分布は時間間隔 Δt が 100 μs と 200 μs の連続した画像である。このような連続する画像から火炎面の動的特性を検討することができる。すなわち、図中の A で示す領域では、1 枚目の画像には環状の火炎面が存在しているが、 Δt 後の 2 枚目の画像ではそのような領域の大きさは縮小している。これは直接数値計算から明らかにされている既燃ガス中の未燃予混合気塊あるいは handgrip 構造が燃え尽きる過程を示している可能性がある。また、図中の B で示す領域では、主要な火炎面から未燃予混合気塊が分離する様子が観察される。これは既燃ガス中の未燃予混合気塊あるいは handgrip 構造の生成過程を示している可能性がある。

本研究では、連続する 2 枚の CH ラジカルの蛍光強度分布から、火炎面の移動速度を算出するために、以下のような方法を用いた。

- ① 粒子画像流速計(PIV)と同様に検査領域を設定する。
- ② 設定された検査領域内の CH 蛍光強度より火炎面位置を特定する。
- ③ 相互相関法により火炎面の移動速度を算出する。

ここで、相互相関法を用いて速度を算出する場合、検査領域内での火炎面の移動量と検査領域の大きさを最適化する必要がある。本研究では局所火炎要素の移動速度を算出することを目的としているため、事前計測結果から時間間隔 Δt を 30 μs 、検査領域の大きさを 48 $\times$ 48pixels とした。図 3 は連続する CH ラジカルの蛍光強度分布と火炎面の移動速度分布を示している。移動速度ベクトルは CH 蛍光強度より特定された火炎面位置において示されている。火炎面の移動速度ベクトルの方向は連続する蛍光画像と良く一致しており、本研究で用いた方法により火炎面の移動速度が算出可能なことがわかる。

5. まとめ

本研究では、乱流予混合火炎の局所火炎要素の動的特性を直接計測可能な CH double-pulsed PLIF 計測法を確立した。この方法は PIV 計測等と同時に行うことが可能であり、乱流運動と火炎面の移動速度を同時に計測することで、乱流予混合火炎の局所的な火炎構造を検討することが可能となる。

Table 1 Turbulence characteristics in the swirl burner.

$Q[\text{l/min}]$	Re_λ	$u'_{rms}[\text{m/s}]$	$l[\text{m}]$	$\lambda[\text{m}]$	$\eta[\text{m}]$
200	63.1	1.24	3.42×10^{-3}	8.12×10^{-4}	5.75×10^{-5}
250	95.0	1.59	6.02×10^{-3}	9.50×10^{-4}	5.48×10^{-5}
300	115.0	1.92	7.27×10^{-3}	9.49×10^{-4}	4.98×10^{-5}

Fig. 2 Double-pulsed CH fluorescence images of CH₄-air turbulent premixed flames ($\phi = 1.0$, $Re_\lambda = 63.1$, (a): $\Delta t=100\mu\text{s}$, (b): $\Delta t=200\mu\text{s}$).

Fig. 3 Double-pulsed CH fluorescence images and two-component displacement velocity vector (red: 1st image, blue: 2nd image, $Re_\lambda = 63.1$).

参考文献

1) Schefer, R. W. et al., Proc. Combust. Inst., 25(1994), p.1223
2) Watson, K. A. et al., Proc. Combust. Inst., 29(2002), p.1905
3) Carter, C. D. et al, Appl. Phys. B66(1998), p.129
4) Tanahashi, M. et al., Proc. Combust. Inst., 30(2004), p.1665
5) Nada, Y. et al., J. Turbulence, 5(2004), p.016