

高レイノルズ数乱流予混合火炎のフラクタル特性

Fractal Characteristics of High Reynolds Number Turbulent Premixed Flames

- 名田 讓, 千科大, 〒288-0025 千葉県銚子市潮見町 3 番地, E-mail:ynada@cis.ac.jp
 塩飽 展弘, 東工大院, 〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1, E-mail:nshiwaku@mes.titech.ac.jp
 店橋 護, 東工大院, 〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1, E-mail:mtanahas@mes.titech.ac.jp
 宮内 敏雄, 東工大院, 〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1, E-mail:tmiyauch@mes.titech.ac.jp
 Yuzuru NADA, Dept. of Disaster Science System, Chiba Institute of Science,
 3 Shiomi-cho, Choshi-si, Chiba, 288-0025, Japan
 Nobuhiro SHIWAKU, Mamoru TANAHASHI and Toshio MIYAUCHI
 Dept. of Mechanical and Aerospace Engineering, Tokyo Institute of Technology,
 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550, Japan

The effects of turbulence characteristics on local flame structure and the fractal feature of flame front are investigated by direct numerical simulations of hydrogen-air turbulent premixed flames propagating in three-dimensional homogeneous isotropic turbulence. The maximum heat release rate in high Reynolds number turbulence reaches to 1.4 times of that in the laminar flame, whereas fractal dimension of the flame surface are 2.3~2.5 and independent on Reynolds number. The finite flame thickness causes the difference in the growth rate of flame surface area and turbulent burning velocity. This difference is collapsed by the ratio of the diameter of coherent fine scale eddy to the laminar flame thickness (D/δ_F). The inner cutoff scale, which is about 10 times Kolmogorov micro scale, also shows good correlation with D/δ_F .

1. 結論

高精度乱流燃焼モデルを開発するには、火炎面面積を正確に予測する必要がある。フラクタルの概念を用いた場合、火炎面面積の増加率は火炎面のフラクタル次元、inner cutoff scale及びouter cutoff scaleから決定される。特に乱流燃焼のLarge Eddy Simulationの場合、フラクタル次元とinner cutoffに関する情報が必要になるため、過去多くの実験的、数値的研究⁽¹⁻⁵⁾が行われてきた。しかし、これらのフラクタル特性に対する乱流特性の影響などは未だ明らかにされていない。そこで本研究では、水素・空気乱流予混合火炎のDNS結果を用いて、乱流予混合火炎のフラクタル特性を明らかにすることを目的としている。

2. 水素・空気乱流予混合火炎の直接数値計算

本研究では、以前の研究⁽⁶⁾と同様な基礎方程式及び計算方法を用いて三次元一様等方性乱流中を伝播する水素・空気乱流予混合火炎のDNSを行った。流入混合気は、圧力 0.1MPa、当量比 $\phi=0.6$ 及び1.0、予熱温度 700Kの水素と空気の予混合気とした。表1は計算条件を示している。本研究では、テイラーマイクロ・スケールに基づくレイノルズ数 Re_λ が37.4~97.1の7つのDNSデータを解析の対象とした。

3. 乱流予混合火炎のフラクタル特性

本研究では、層流予混合火炎の熱発生率がピークを示す温度

Table 1 Numerical parameters for DNS and fractal characteristics of hydrogen-air turbulent premixed flames.

	ϕ	Re_λ	u'/S_L	l/δ_F	D_3	ε_l/η
R37LL	1.0	37.4	0.85	169	2.28	8.63
R37MM	1.0	37.4	1.70	84.3	2.38	10.9
R37MML	0.6	37.4	2.18	65.9	2.44	9.73
R37HS	1.0	37.4	3.41	42.2	2.35	12.9
R60HM	1.0	60.8	3.39	90.1	2.49	12.2
R60HML	0.6	60.8	4.33	70.1	2.44	11.7
R97HM	1.0	97.1	5.78	122	2.34	13.0

1282K($\phi=1.0$)と 1199K($\phi=0.6$)の等値面を火炎面とし、乱流予混合火炎のフラクタル特性について検討を行った。表1にはそれぞれの条件で得られたフラクタル次元 D_3 とinner cutoff scale ε_l も合わせて示した。本研究で対象とした燃焼条件における火炎面のフラクタル次元は2.3~2.5程度であり、レイノルズ数と当量比に対する依存性は観察されない。inner cutoffは 8.6η ~ 13η の範囲であり、非反応性乱流のスカラー等値面の 8η より高い値を示している。

非反応性乱流のスカラー等値面のinner cutoffとコヒーレント微細渦の直径 D が一致することから、火炎厚さ δ_F がコヒーレント微細渦の直径より薄くなるに従ってinner cutoffもコヒーレント微細渦の直径に漸近すると考えられる。図1はinner cutoffと D/δ_F の関係を示している。図にはDNSから得られた結果に加えて実験結果⁽¹⁻⁵⁾も示している。火炎面のinner cutoffは D/δ_F と強い相関を示し、 D/δ_F が大きくなるに従って 8η に漸近することがわかる。

参考文献

- (1) Smallwood et al., Combust. Flame, 101 (1995), pp. 461-470.
- (2) Gülder et al., Combust. Flame, 120 (2000), pp. 407-416.
- (3) Goix et al., Combust. Sci. Tech., 91 (1993), pp. 191-206.
- (4) Gorgen et al., Combust. Sci. Tech., 92 (1993), pp. 265-290.
- (5) Kobayashi et al., Proc. Combust. Inst., 30 (2004), pp. 827-834.
- (6) Tanahashi et al., Proc. Combust. Inst., 29 (2000), pp. 2041-2049.
- (7) Tanahashi et al., Proc. JSME Fluids Eng. Conf., (2003), CD-ROM.

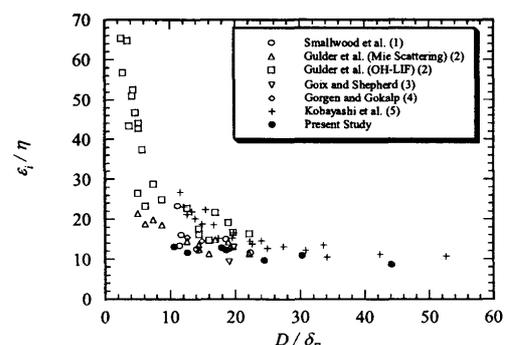


Fig. 1 Dependence of inner cutoff scale on D/δ_F .