

アセトンレーザ誘起蛍光法による 浮き上がり噴流火炎端領域の燃料濃度分布計測*

廣田 光智^{*1}, 関根 一史^{*2}, 橋本 浩太^{*2}
齊木 厚志^{*2}, 高橋 英美^{*2}, 升谷 五郎^{*1}

Measurement of Fuel Concentration Profile at Leading Edge of Lifted Flame with Acetone Laser-Induced Fluorescence

Mitsutomo HIROTA^{*3}, Kazushi SEKINE, Kouta HASHIMOTO,
Atsushi SAIKI, Hidemi TAKAHASHI and Goro MASUYA

^{*3} Department of Aerospace Engineering, Tohoku University,
6-6-01 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi, 980-8579 Japan

This research proposes a study of the leading edge of the methane-air triple flame characteristics. Few experiment results are available for physical examination, so an experimental investigation must be conducted to understand the stability mechanisms in a mixture with a steep concentration gradient. To this end, applying acetone-laser-induced fluorescence (acetone-LIF) is studied for measuring concentration profiles at the leading edge of the flame. The results demonstrate that the lifted height is changed when acetone is added to the mixture. It correlates closely with increasing C₂ radical behind the flame edge. Meanwhile, the OH radical luminous intensity measured with a spectroscope is not changed. Moreover, the burning velocity of methane-acetone-air mixture obtained by the Bunsen burner method remains constant. Therefore, the influence of acetone on burning intensity is small. Acetone LIF can thus be advantageous for measuring the local concentration gradient at the leading edge. The acetone LIF signals can be revised considering the thermal effect using the silicone oil vanishing plane. After temperature correction, the transition of the flammability limit width upstream of the flame at a steep concentration gradient can be observed as clearly as in the recent numerical result.

Key Words: Premixed Combustion, Diffusion Combustion, Laser, Lifted Flame, Acetone-LIF, Concentration Profile

1. 結 言

燃焼装置内における火炎の安定化は、装置の正常な運転及び安全確保の観点から極めて重要な技術である⁽¹⁾。これは、燃焼排出物を抑える上でも重要視される。例えば高温空気を用いた燃焼器において窒素酸化物の排出を抑えるためには、浮き上がり火炎を形成させ、安定に保持することが大切であると指摘されている⁽²⁾。火炎の安定は、これまで上流側を予混合とみなし乱流火炎速度と局所流入速度のバランスしたときとするもの、火炎基部が非予混合火炎とみなし局所伸長率が火炎片の消失値よりも小さいときとするものの二つで説明された⁽³⁾。これらの見解だけでは現象の

説明に限界があり、近年この浮き上がり火炎では、火炎の上流側で燃料流と周囲空気が互いに拡散し、燃料濃度が希薄側から過濃側まで変化する有限幅の予混合領域が生じ、そこにトリプルフレーム（または三枝火炎）といわれる火炎が形成されることが注目された。この火炎は、希薄予混合火炎、過濃予混合火炎、拡散火炎が共存する火炎で、同一の場所（トリプルポイントという）から三つの火炎が枝状に下流側へ伸びた形となる⁽⁴⁾、⁽⁵⁾。従って、浮き上がり火炎の安定性を解明するために、トリプルフレーム構造を調べることが重要である。

濃度こう配のある予混合気流を作り、そこにトリプルフレームを形成して、火炎伝播速度や火炎構造などの特性を調べた研究はいくつか報告されている⁽⁶⁾、⁽⁷⁾。しかしながら、これらの対象は、比較的濃度こう配の小さいトリプルフレーム（可燃範囲幅で 1.8 mm から 5.5 mm⁽⁷⁾）に限定されていた。実燃焼器の

* 原稿受付 2006年7月10日。

*¹ 正員、東北大学工学部(☎980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01)。

*² 東北大学大学院工学研究科。

E-mail: hirota@cc.mech.tohoku.ac.jp

ような乱流燃焼の安定性に応用する場合、火炎上流側の濃度こう配が大きい火炎を対象とする必要がある。そのような場を対象としたこれまでの研究は、数値計算⁽⁸⁾⁽⁹⁾により、トリプルポイント付近の火炎面の構造を詳細に予測したものが多い。当然のことながらこれらの数値計算による知見は、実験により実証される必要がある。この実証に当たっては、対象とする火炎が小さいうへ擾乱に弱いため、空間分解能が高く非接触計測法であるレーザ計測法を用いることが必要である。従来の実験的研究では、濃度こう配が大きいことから、火炎を非予混合火炎と捉え、レーザ計測による火炎上流側の濃度分布からスカラー散逸率を算出し、安定性を評価することが試みられた⁽¹⁰⁾。このとき対象が乱流の浮き上がり火炎であったことから、統計的な処理が行われた。ここで用いられたアセトンレーザ誘起蛍光法（以下、アセトン LIF）は、信号強度が比較的強く、安価に計測系を用意できるなどの利点を有しており、火炎特性の計測に実績がある⁽¹¹⁾。しかし、この計測結果は火炎前方の温度上昇による影響等を考慮しておらず、火炎面近傍については、定性的な比較となっている。したがって、濃度こう配の大きい浮き上がり火炎上流端の特性評価には、空間分解能に優れ、火炎近傍の温度構造の変化を考慮した濃度分布計測の確立が必要である。

そこで、本研究では、軸対称同軸二重円形バーナを用いて層流中に浮き上がり火炎を定在させ、アセトン LIF によって混合気濃度を測定する。このとき、得られた分布の補正や火炎に対する影響を示し、アセトン LIF の有用性を明らかにすることを目的とする。手順として、まず分光器を用いて火炎のラジカル自発光強度を測定し、添加するアセトンレーザの影響が火炎観察に及ぼす影響を検討する。次に得られたアセトン LIF の画像において、別に添加したシリコンオイル粒子からの Mie 散乱光を基準に火炎端上流側の温度分布を予測し、アセトン LIF 信号強度の温度依存性を補正する手法を提案する。また、同じ火炎でレーザ散乱法でも濃度分布を計測し結果を比較して、曲率が大きい火炎に対する 2 つの濃度計測法の有効性を比較する。

2. 実験方法

2・1 バーナ及び形成される浮き上がり火炎

図 1 に本研究で使用した同軸二重円形バーナの概略図、及びこの装置で形成される浮き上がり火炎の一例を示す。バーナ図中の座標軸原点を中心軸上のバーナ出口位置とし、流れ方向に y 軸、半径方向に r 軸をとった。

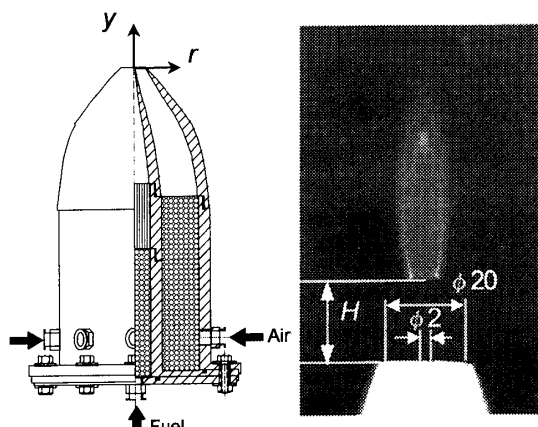


Fig. 1 Experimental apparatus and a photograph of lifted flame

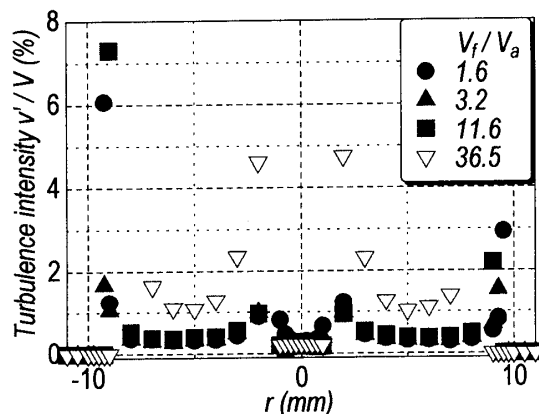


Fig. 2 Distribution of the turbulence intensity at the burner exit

燃料として、炭化水素系の燃料の中でも分子構造が比較的簡単で中間生成物の少ないメタンを使用した。燃料を流出させる内側円形ノズル（縮流比 156）の出口直径は 2 mm とした。また、浮き上がり火炎の上流端において燃料の半径方向の拡散が周囲の静止大気まで及ばないように、空気流を流出させる外側環状ノズル（縮流比 34）の外壁出口直径は 20 mm とした。燃料流と空気流の体積流量は、フローメータ（Kofloc 社製、8100MM）とフローコントローラ（Kofloc 社製、2203）によって制御した。各流路は直径 2 mm のシリカビーズを充填した整流室に導かれ、バーナ出口断面全域にわたって乱れを抑えて噴出するように設計されている。

燃焼実験に先立ち非燃焼状態で熱線流速計により測定した、バーナ出口の乱れ強さ分布を図 2 に示す。乱れ強さは各測定位置の平均流速で無次元化している。燃料噴流 V_f と空気流 V_a の比 V_f/V_a が 36.5 と大きいときは内側ノズルと外側ノズルの境界にあたる混合領域 ($r = \pm 2$ mm) において乱れ強さが最大で 4.8 % に達したが、空気流を適切に流すことで流速比を下げ、乱れ強さを 1.2 % 以下に抑えられることを確認した。

噴流中の浮き上がり火炎は、燃料流と空気との混合領域で形成される。このとき同軸二重円形バーナを用いると、内側円形ノズルと外側環状ノズルの噴出速度を適切に変えることで、上記のように混合領域におけるせん断による乱れの発生を抑えることができる。従って、本研究では浮き上がり火炎を幅広い流速条件下で安定に形成することが期待できる。

2・2 燃料濃度分布の測定 本研究では、アセトン LIF を用いて火炎端上流側の燃料濃度分布を測定した。流れの中にある特定の化学種の電子遷移に合わせた波長のレーザーを照射し、選択的に励起したその化学種が緩和する過程で生じる蛍光を測定する方法が LIF である。励起対象とする化学種としてアセトンを用いるアセトン LIF では、アセトンが 225 nm ~ 320 nm の広い波長範囲で励起され、270 nm ~ 280 nm 付近で最大となる。またその蛍光波長は、350 nm ~ 550 nm の広い範囲にわたっている^(1,2)。従って励起波長と蛍光波長がほぼ完全に分離できる特徴を持つ。照射したレーザー光強度 I_L に対するアセトン分子からの蛍光発光強度 I_A は以下の関係で得られる^(1,2)。

$$I_A = \frac{I_L}{hc/\lambda} \eta_{opt} dV_C \left(\frac{\chi_{Acetone} P}{kT} \right) \sigma(\lambda, T) \phi \left(\lambda, T, P, \sum_i \chi_i \right) \quad (1)$$

h はプランク定数、 c は光速、 λ は励起光波長、 η_{opt} は検出光学系の効率、 dV_C は検査体積、 χ は化学種 i のモル分率、 P は全圧力、 k はボルツマン定数、 T は温度、 σ は分子の吸収断面積、 ϕ は蛍光量子収率である。式 (1) において、混合気の特性に依存する項のみを考慮し、組成変化の効果を無視すると次式が得られる。

$$I_A \propto \left(\frac{\chi_{Acetone} P}{kT} \right) \sigma(\lambda, T) \phi(\lambda, T, P) \quad (2)$$

ここで、温度と圧力および励起レーザー光強度が一定と仮定すると、アセトン蛍光発光強度はアセトン濃度に比例する。従ってアセトンを一定割合で混入したメタンを燃料として、空気との混合気を様々な濃度で作成し、そのアセトン蛍光発光強度を測定してメタン濃度とアセトン蛍光発光強度の関係をあらかじめ校正することで、測定部のメタン濃度を蛍光発光強度から測定できる。

図3は、アセトン LIF の光学系の概略図である。本研究では、最大励起波長付近となる単パルスの Nd:YAG レーザの四倍波 (Continuum 社製, Surelite1-10, 266 nm, 70 mJ, パルス幅 4 ~ 6 ns) をアセトンの励起

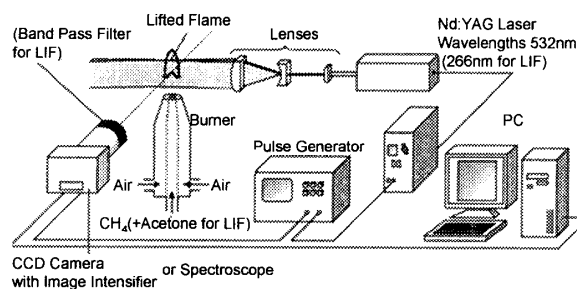


Fig.3 Experimental setup for the acetone-LIF, the Rayleigh scattering and the spectroscopy

光として採用した。レーザー光は、一枚のシリンドリカル凹レンズ (シグマ光機社製, $f = -20$ mm) と二枚のシリンドリカル凸レンズ (シグマ光機社製, $f = 200, 500$ mm) を用いて、厚さ 0.5 mm のシート光とした。二次元的に得られるアセトン蛍光発光画像は、イメージインテンシファイア (浜松ホトニクス社製, C6653) を通して微弱な信号を増幅し、CCD カメラ (浜松ホトニクス社製, C4742-95) で撮影した。このときイメージインテンシファイアに 390 nm 付近が最大透過波長となるバンドパスフィルタ (シグマ光機社製, BLF-50S-390B) を取り付け、アセトン蛍光発光以外の迷光を避けた。また CCD カメラとイメージインテンシファイアを、パルスジェネレータ (BNC 社製, 555-4C) によってレーザー光源と同期し、レーザー光照射後 10 ns の露光時間とすることによっても迷光を低減させた。アセトンの蛍光発光時間は励起後およそ 5 ns なので上記の露光時間で十分に計測できる。なお撮影された画像にはアセトン蛍光発光の他に背景光が含まれるため、あらかじめ背景光のみ撮影し、実験時の画像から差し引いた。またレーザー光の強度はシート表面上では一様ではない。そこであらかじめレーザーシート上の光強度分布を計測し、仮想的に照射強度が一様となるよう撮影した画像を補正した。また、一パルス毎のレーザー照射強度に差があることから、50 パルスで取得した画像を積算しその平均値を採用した。

本研究では燃料をアセトン添加容器内に誘導することによって、これに気化させたアセトン蒸気を添加している。ここで、添加割合を一定にするためには、ある一定温度において飽和状態を作り出せばよい。そこで、アセトン添加容器を温度制御が可能なウォーターバス (アズワン製, EC ウォーターバス, AK-0057-019) に水浴させ、20 °C に保った。このとき、アセトン添加割合は 11.3 % であり、蛍光発光が十分得られ、かつ浮き上がり火炎の安定性が損なわれないことをあらかじめ確認した。また火炎に対するアセトン添加の

影響を調べるために、光ファイバを用いた光学系（直径 1.2 mm、長さ 31 mm の測定体積）を有する分光器（分光計器社製、M25-T）によって、火炎発光の各波長強度を測定した。

本研究では、浮き上がり火炎の上流側濃度計測にアセトン LIF を適用することの利点を明らかにするために、著者らが従来用いた^(1,3) レーリ散乱法による濃度計測も同時に行い、両者の測定結果を比較した。レーリ散乱法のシステムは、基本構成は LIF と同様である。光源として Nd:YAG レーザの二倍波 (532 nm) を用いる点、燃料側にアセトンを添加しない点、CCD カメラにバンドパスフィルタを装着しない点が異なる。高出力レーザを用いれば Signal / Noise (S/N 比) の高い非接触濃度計測が可能であるが、システム構築費用が高くなる。そこで本研究では光源として、アセトン LIF に用いた単パルスの Nd:YAG レーザの二倍波 (532 nm, 260 mJ, パルス幅 4~6 ns) を採用し、光学系、画像撮影装置及び画像の後処理は上記のアセトン LIF の場合と同様とし、両者を比較した。

3. 実験結果及び考察

3・1 火炎の安定性 図4は、バーナ出口における燃料流と空気流の速度比 V_f/V_a に対する火炎浮き上がり高さ H の変化を表している。各限界値はバーナ出口における燃料流速 V_f を一定として空気流速 V_a を変化させて測定した。まず空気流速を増加させて火炎が浮き上がる浮き上がり限界 (●)，安定な浮き上がり状態から空気流速を増加させて火炎が振動し始める振動限界 (■)，さらに空気流速を増加させて火炎が吹き消える吹き消え限界 (▽) がプロットされている。これらの限界値により(1)火炎が存在しない領域、(2)浮き上がり火炎が振動する領域、(3)安定な浮き上がり火炎が存在する領域の3つに分けられる。このバーナを使用することにより流れの擾乱が抑えられ、広い条件範囲で安定な浮き上がり火炎が形成できることがわかる。本研究では(3)の領域に燃料及び空気流速を設定し、安定な浮き上がり火炎に対してレーザ計測を行った。

3・2 アセトン LIF による燃料濃度計測 アセトン LIF を用いて浮き上がり火炎の火炎端付近における燃料濃度を計測した。このときアセトンは濃度測定用の添加成分として燃料流に導入される。アセトンは、通常、液体のアセトン中に燃料ガスを吹き込むバブリングによって蒸発させ、燃料流に混入させる^{(1,2)(14)}。このときアセトンをバブリングによって主流に

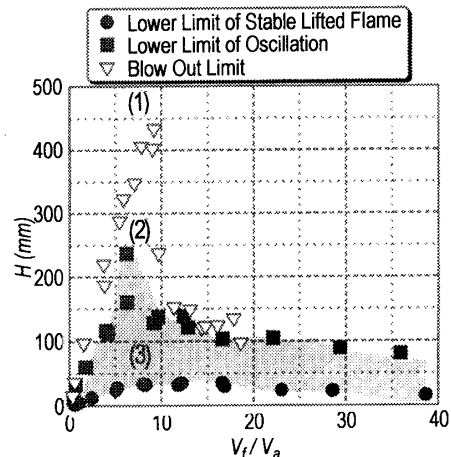


Fig. 4 Relationship between the height of the lifted flame and the fuel / air velocity ratio: (1) no flame region, (2) oscillating lifted flame region, (3) stable lifted flame region

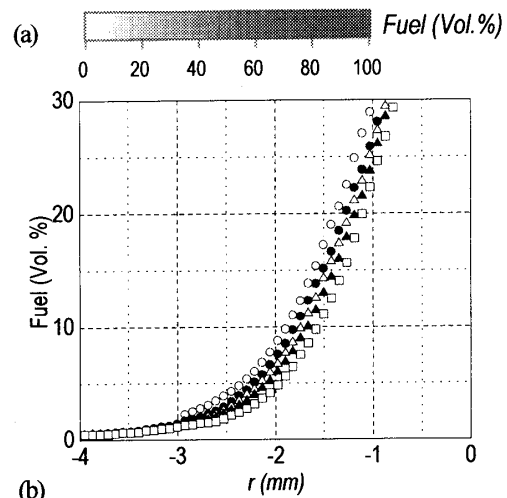
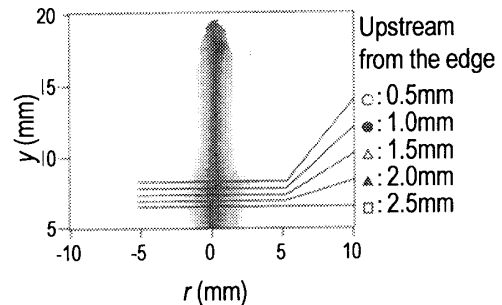


Fig. 5 Measured results of the fuel concentration with the acetone-LIF image: (a) the acetone LIF image, (b) concentration profile ($V_f/V_a = 1.6$, $V_f = 0.70$ m/s, $V_a = 0.44$ m/s).

導入した場合、火炎が大きく振動した。従って本研究では振動を抑える目的で、バブリングを用いずに、自然蒸発によってアセトンを導入した。通常、自然蒸発によるアセトンの導入では、アセトン供給量が少ないうえ、温度の変化で一定に供給できなくなるなどの問題があるが、水温を十分なアセトン蒸気圧が得られる

値に制御した水槽にアセトン添加装置を水浴させることで、安定かつ十分なアセトンを供給し測定を可能とした。図5は、 $V_f=0.70\text{ m/s}$, $V_a=0.44\text{ m/s}$ の噴出条件で自然蒸発によってアセトンを導入して得られる LIF の画像から換算した濃度分布である。この図で $y > 8.1\text{ mm}$, $|r| > 2.5\text{ mm}$ の領域では発光輝度が弱くなっている。アセトンの発火点は 833 K であり、反応帯から下流側ではアセトンが消失するため蛍光発光が得られない。図5(a)の黒色直線に沿った濃度分布を図5(b)に示す。火炎先端位置は同様の条件にて撮影した可視炎から求めた。図より得られた濃度分布にはばらつきもなく、濃度測定が出来た。これはアセトンの蛍光発光が励起光と異なる波長であるため、光学フィルタを用いて選択的に計測することにより S/N 比を上げることができるからである。これにより可燃範囲付近の濃度分布を明瞭に測定できる。

火炎には、アセトン添加によって影響が現れる可能性がある⁽¹¹⁾。そこで本研究では、アセトンを添加することによって変化する浮き上がり噴流火炎特性とその影響の度合いをあらかじめ把握する目的で、分光器を用いて火炎の発光スペクトルを測定した。これは、球面収差、色収差を考慮したアクロマチックレンズ系により得られる、直径 1.2 mm 、長さ 31 mm の円筒形有効測定体積中の発光輝度積分値で表しており、アーベル変換等は行っていない。図6は、OH ラジカルの発光強度が最大となる高さで定義した火炎最上流端における、発光スペクトル分布である。測定は、 $250\text{ nm} \sim 389\text{ nm}$ の計測に紫外波長用のレンズを、 $390\text{ nm} \sim 650\text{ nm}$ の計測に可視波長用のレンズをそれぞれ用いた。発光強度 I は、それぞれの使用レンズ範囲におけるピーク値 I_{peak} で無次元化した。図よりアセトン添加の有無によらず、測定される波長の傾向は同様であることがわかる。次にアセトン添加による燃焼強度の変化を知るために、図7(a)のように OH ラジカル発光の波長ピーク値にあたる 309.0 nm の強度分布をバーナ軸 (y 軸) に沿って測定した。図よりアセトンを添加すると測定される分布が上流側に移動し、浮き上がり高さが変化した。このとき OH ラジカル発光強度の最大値は、変わらない。著者らは、本研究に先立ちメタン・空気予混合気のアセトンを添加した場合の予混合火炎の燃焼速度を、ブンゼンバーナを用いた角度法により測定した。その結果、本研究で添加するアセトンの割合で測定される最大燃焼速度は、添加しない場合と同値であった。図7(b)は、 C_2 ラジカル発光の波長ピーク値にあたる 516.0 nm の強度分布をバーナ軸 (y 軸) に沿って測定した結果である。アセトンを添加すると $y =$

32 mm 付近の火炎下流部の発光が強い。著者らの従来の研究⁽¹³⁾では、火炎曲率が大きくなると燃焼強度の変化が小さくなることがわかっている。つまり、火炎曲率が大きいときは、アセトン添加の影響が燃焼強度には顕著に現れない。このとき、アセトン添加により下流側に輝炎が発生していること、浮き上がり高さから見かけの燃焼速度を見積もる場合には補正が必要なことに、注意が必要である。

火炎端の曲率とそこに流入する濃度こう配には相関があるため⁽¹³⁾、火炎に流入する局所の濃度分布が重要である。このときアセトン LIF により計測された信号は、式(2)に示したように温度と圧力の関数となる。本研究では定常状態の火炎前縁を対象としているため、圧力の影響がないと判断したが、温度の影響に関しては検討しなければならない。火炎端付近の温度の影響を考慮するためには、温度分布を測定して信号強度の温度補正を行う必要がある。本研究では、流

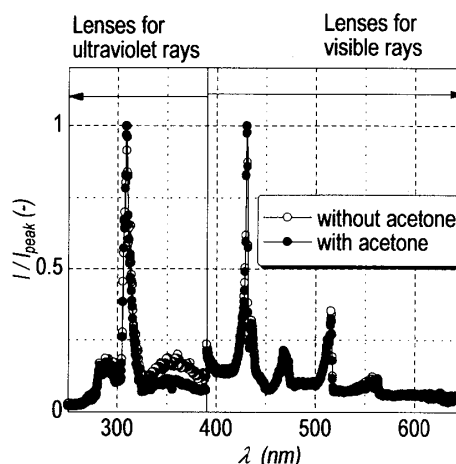


Fig. 6 Flame spectra profile at leading edge of the flame

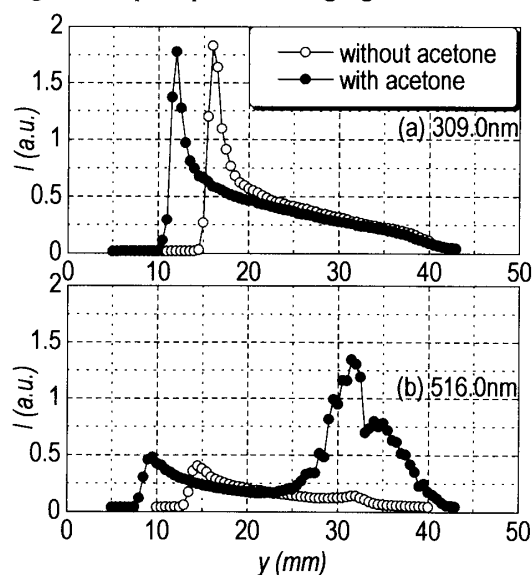


Fig. 7 Flame luminescence profile at 309.0 nm and 516.0 nm along z -direction.

れ場にシリコンオイル粒子を混入し、そこにレーザーシート光を照射したことによる Mie 散乱光を別に検出し、その散乱光消失面をシリコンオイル粒子の沸点の等温度面とした。この等温度面から予熱帯前縁の温度立ち上がりの面、つまり上流側常温領域 295 K の最下流面までの距離を、理論混合比の層流一次元予混合火炎構造⁽¹⁵⁾から予測し、予熱帯表面から粒子消失面までの温度分布を見積もった。この温度分布を用いて、Thurber らの研究⁽¹²⁾に示されている LIF 信号強度と温度の関係から、火炎端前縁の濃度分布を補正した。このとき、理論混合比の一次元予混合火炎面構造から予測される粒子消失等温度面から最大熱発生率位置までの距離が 0.32 mm であり、画像から測定した粒子消失面から可視炎面の距離が 0.33 ± 0.02 mm と同程度であることから、予熱帯表面位置の予測は妥当であると判断した。図 8 (a)は、本研究でアセトン LIF により計測した浮き上がり火炎上流側の可燃範囲幅 W である。図より温度が未補正の場合、予熱帯前縁から粒子消失面までの間に急激に可燃範囲幅が大きくなるような傾向を示すが、温度補正後は、温度上昇領域における急激な可燃範囲幅の変化は解消された。図 8 (b)は、Qin らの計算結果⁽⁹⁾から描いた火炎端上流付近の可燃範囲幅 W と $T = 400$ K 及び 800 K の等温度線である。図より火炎帯付近までは可燃範囲幅が増加し、火炎帯に進入後、減少する傾向がある。流入条件や浮き上がり高さなどが異なるため可燃範囲幅は必ずしも一致しないが、これは図 8 (a)の補正後の分布と同傾向である。これより、アセトン LIF を浮き上がり火炎に適用して火炎端上流部の濃度分布を測定する場合、温度の補正により火炎端進入部までの分布が計測可能である。なお、メタン・空気の拡散速度とアセトン・空気の拡散速度から、本研究の浮き上がり高さにおいては、メタンの広がりが 0.04 mm、アセトンの広がりが 0.02 mm となり、空間解像度 0.01 mm のオーダーと同程度であることから、可燃範囲の評価には影響がない。

このように本研究では、非常に大きい曲率を有する浮き上がり火炎上流側の濃度分布から可燃範囲幅の詳細な変化を、実験によって捉えることができた。

3・3 レーリ散乱法による燃料濃度計測

図 9 は、 $V_f = 0.70$ m/s, $V_a = 0.44$ m/s の噴出条件で得られる浮き上がり火炎の上流端付近のレーリ散乱法による濃度分布の測定結果である。レーザーシート光は図の右側から z 軸に直交する向きに照射している。図 9 (a)で $y > 8.1$ mm, -5 mm $< r < 5$ mm の領域では発光輝度が非常に大きい、これは火炎発光によるものである。従ってこの領域は本来のレーリ散乱光ではないので除外す

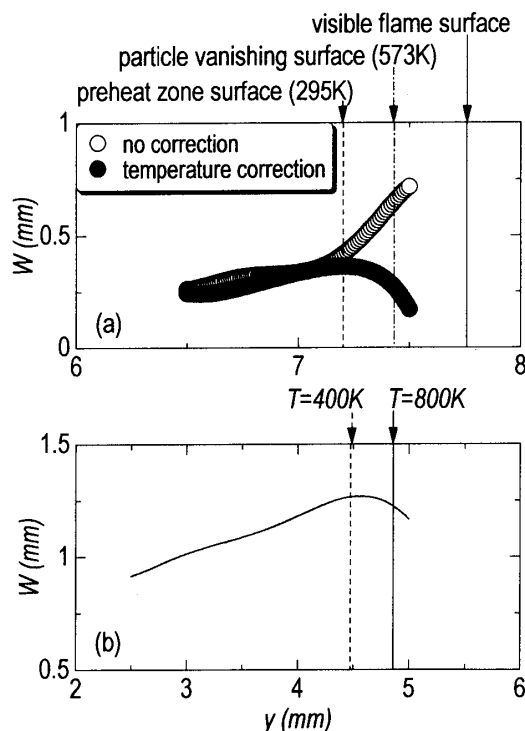


Fig. 8 Flammability limit width profile in front of the flame surface: (a) experimental results, (b) numerical results⁽⁹⁾

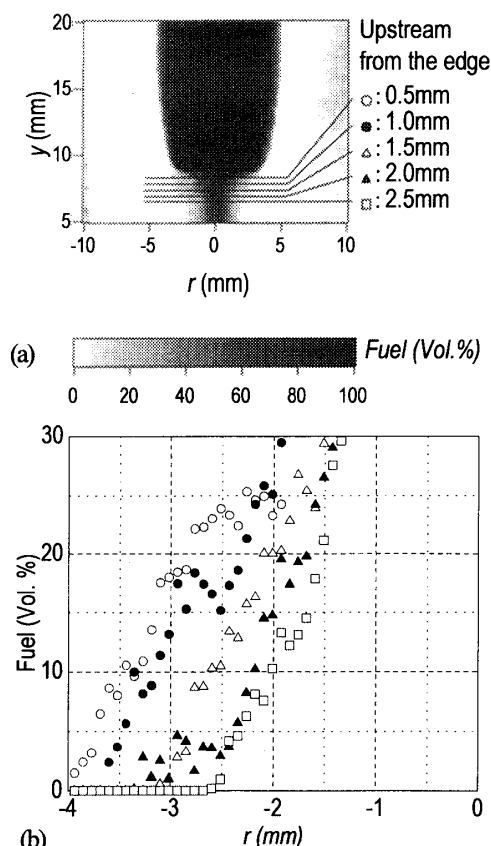


Fig. 9 Measured results of the fuel concentration with Rayleigh scattering method: (a) Rayleigh scattering image, (b) concentration profile ($V_f/V_a = 1.6$, $V_f = 0.70$ m/s, $V_a = 0.44$ m/s).

る。図9(a)の黒色直線に沿った濃度分布を図9(b)に示す。このとき火炎最上流端位置は、同様の条件で撮影した可視炎画像から測定した。この図より測定された分布が滑らかではないことがわかる。それぞれの直線に沿う分布は著しくばらついており、それらの間の規則的な変化を見出すことはできない。これはバーナリムや周囲流に存在する埃などからのミー散乱光を含む迷光が、レーリ散乱光と同一波長であり、その影響を除外できないからである。レーリ散乱光を鮮明に捉えるためには、雰囲気と噴射ガスのレーリ散乱断面積比を大きくしてS/N比を向上させる必要がある。レーリ散乱断面積比が大きければ、火炎波長を除外する光学フィルタを用いることでレーリ散乱光のみを抽出できる。しかし、本研究ではメタン・空気火炎を対象としているのでレーリ散乱断面積比は小さく、光源もシート状に広げているためレーリ散乱光輝度も小さい。本来ならば火炎に近づくにつれて濃度こう配も徐々に緩やかになり、分布も滑らかとなるはずである。図5

(b)のアセトンLIFの結果では、これらの構造が鮮明だが、図8(b)のレーリ散乱法による結果では、注目している5 vol.%から15 vol.%の可燃範囲も含めて全体的に分布にばらつきがあり、濃度こう配の変化が鮮明でない。

以上のことより、濃度こう配の大きな火炎においてその上流側の濃度分布を鮮明に測定するためには、アセトンLIFが有効であることがわかった。

4. 結 言

軸対称同軸二重円形バーナを用いて、安定なメタン-空気の浮き上がり火炎に対して、アセトンレーザー誘起蛍光法の有用性を検討し、以下のような結論を得た。

(1) アセトン添加により、下流側に輝炎が発生し火炎定在位置が変化するが、分光器によるOHラジカル発光強度や角度法による燃焼速度の計測では、燃焼強度には変化が表れないことがわかった。

(2) シリコンオイル粒子の蒸発面から火炎端付近の温度構造を予測し、アセトンLIF信号強度を補正することができた。補正後の分布から、火炎の上流側可燃範囲幅の変化を捉えることができ、その傾向が従来の

数値計算結果と同様であることがわかった。同じ火炎においてレーリ散乱法により測定した濃度分布には、ばらつきがあった。これより、濃度こう配の大きな火炎に対して、火炎上流側の可燃範囲幅を測定する場合、アセトンLIFが有効であることがわかった。

本研究の一部は平成17年度文部科学省科学研究費補助金若手研究(B)(N0.17760154)によって行われた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- (1) Otake, K., Fujiwara, T., *Combustion Engineering*, (1985), p.55, Corona Publishing
- (2) Fujimori, T., Riechelmann, D. and Sato, J., *Proc. Comb. Inst.* 27, (1998), pp. 1149-1155
- (3) Pitts, W. M., *Proc. Comb. Inst.* 22, (1988), pp. 809-816
- (4) Phillips, H., *Proc. Comb. Inst.* 10, (1965), pp. 1277-1283
- (5) Chung, S. H. and Lee, B. J., *Combustion and Flame* 86, (1991), pp.62-72
- (6) Kim, N. I., Seo, J. I., Oh, K. C., and Shin, H. D., *Proc. Comb. Inst.* 30, (2005), pp. 367-374
- (7) Yasuda, K., Mizomoto, M., *Proceedings of the Forty-Second Symposium (Japanese) on Combustion*, (2004), pp.161-162
- (8) Takahashi, F. and Katta, V. R., *Proc. Comb. Inst.* 28, (2000), pp. 2071-2078
- (9) Qin, X., Puri, I. K., and Aggarwal, S. K., *Proc. Comb. Inst.* 29, (2002), pp. 1565-1572
- (10) Su, L. K., Sun, O. S. and Mungal, M. G., *Combustion and Flame* 144, (2006), pp.494-512
- (11) Nakamura, Y., Manome, S., Satomi, T., Hayashi, N., Yamashita, H., *Journal of the Combustion Society of Japan*, Vol.47, No.142 (2005), pp.290-299
- (12) Thurber, M. C., Grisch, F., Kirby, B. J., Votsmeier, M. and Hanson, R. K., *Applied Optics* 37-No.21, (1998), pp. 4963-4978
- (13) Nagai, Y., Hirota, M., Mizomoto, M., *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol.70, No.691 (2004), pp.780-788
- (14) Lozano, A., Yip, B., and Hanson R. K., *Experiments in Fluids* 13, (1992), pp. 369-376
- (15) Dixon-Lewis, G., *Proc. Comb. Inst.* 23, (1990), pp. 305-324