

## 部分予蒸発層流噴霧バーナを用いた燃焼実験

Combustion Experiments of Laminar Spray Stream Generated  
by a Partially-Prevaporized Spray Burner

早崎 将司	野村 浩司	氏家 康成
(Masashi HAYASAKI)	(Hiroshi NOMURA)	(Yasushige UJIIE)
日本大学大学院	日本大学	日本大学
(Nihon Univ.)	(Nihon Univ.)	(Nihon Univ.)

A uniform spray burner was developed to perform a fundamental study on partially-prevaporized spray combustion. A laminar stream of partially-prevaporized spray was generated by the condensation method using rapid expansion of a saturated ethanol vapor-air mixture. A coaxial nozzle burner of 8 mm in the inner nozzle exit diameter was applied to the burner. A tilted flat flame was stabilized at the nozzle exit using a straight hot wire. A laser sheet technique was used for observations of droplet behavior in a flame. Droplet velocity upstream of the leading edge of a flame and in the preheat zone was measured with a particle tracking velocimetry (PTV). A flame was observed with a color CCD camera. It was found that droplets evaporate completely in the preheat zone for sprays of 7  $\mu\text{m}$  in the mean diameter, 0.8-1.3 in the total equivalence ratio, and 0.2 in the liquid equivalence ratio. A flat flame oscillates in fuel-rich spray streams of 0.2 in the liquid equivalence ratio and 7  $\mu\text{m}$  in the mean droplet diameter. As approaching a flame, droplets accelerate in the direction normal to the hot wire and the nozzle axis and decelerate in the direction parallel to the nozzle axis. Burning velocity of spray flames of 0.7 and 0.8 in the total equivalence ratio and 7  $\mu\text{m}$  in the mean droplet diameter increases with the increase in the strain rate, and decreases for spray flames of 0.9 and 1.0 in the total equivalence ratio.

**Key words:** Partially-prevaporized spray, Spray combustion, PTV, Strain rate

## 1. 緒言

部分予蒸発燃料噴霧の燃焼機構を解明することは、ディーゼル機関の高出力化に制限を与えるディーゼルノックの抑制や、筒内直噴ガソリン機関の燃焼促進、予蒸発希薄予混合ガスタービンの予蒸発管における逆火防止などに有用な知見が得られると考えられる。部分予蒸発噴霧の燃焼機構は非常に複雑である。実験結果の解析を容易にするため、液滴直径分布幅が狭く、液滴が均一に分散する部分予蒸発噴霧の層流を研究対象にした。均一粒径・均一分散燃料液滴群の生成法がこれまでにいくつか提案されている。Hahashi and Kumagai<sup>(1)</sup>は、燃料蒸気-空気混合気を急速膨張させることによって、粒径分布幅の狭い均一分散燃料液滴群を生成した。著者らの一部も、同様の方法を用いて実機の部分予蒸発燃料噴霧をモデル化した粒径分布幅

の狭い静止均一分散燃料液滴-蒸気-空気混合気を生成し、定圧および定容環境下で燃焼実験を行ってきた<sup>(2,3)</sup>。その結果、予混合気中に分散する燃料液滴が火炎伝播速度や最大燃焼圧力などに大きく影響を及ぼしていることが明らかになった。本研究では、急速膨張方式部分予蒸発噴霧バーナを新たに開発し、層流伸長流れ場に平面火炎を保炎させ、予混合気中に分散する燃料液滴が燃焼速度に及ぼす影響を調べてきた<sup>(4)</sup>。燃焼速度は、同一総当量比の予混合火炎のものと比較して、希薄領域では大きくなり、過濃領域では逆になくなるということがわかった。本報では、Particle Tracking Velocimetry (PTV)により、平面火炎の構造観察および火炎前縁の液滴速度計測を行った結果を報告する。

## 2. 実験装置および方法

## 2.1 部分予蒸発燃料噴霧の生成原理

予混合気中に燃料液滴を均一に分散させる方法とし

て、急速減圧式凝縮法を採用した。これは、容器内に充填した飽和燃料蒸気-空気混合気を急速減圧させることによって温度降下を起こさせ、燃料蒸気の一部を液滴に凝縮させる方法である。この噴霧生成法の原理は、Wilson の霧箱と同じである。本研究ではこの原理を用いて、液滴直径分布幅が狭く、空間的均一性・時間的安定性を持つ層流の噴霧流を実現した。

### 2.2 実験装置構成

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。実験装置は噴霧バーナ、制御装置および計測装置から構成される。噴霧バーナは急速減圧容器、ピストン、ノズルおよび点火装置から構成される。急速減圧容器は直径 80 mm、全長 80 mm の円筒形である。ノズルは同軸流ノズルであり、噴霧流を流す内側ノズルおよび周囲流を流す外側ノズルの出口内径はそれぞれ 8 および 28 mm である。周囲流には窒素を用い、中心流と同流速で流した。窒素の流路には整流板を設けた。点火・保炎装置の電熱線には、直径 0.6 mm、長さ 30 mm のニクロム線を使用した。本装置は、噴霧流が点火した後は、出力を低下させ、斜め平面火炎を噴霧流中に保炎させる役割を持つ。ノズルと点火・保炎装置の詳細を Fig. 2 に示す。ノズル出口と平行に直線状に張られた電熱線は、その中央がノズル出口 2 mm 上方の噴霧流外縁と接するように設置した。制御装置にはシーケンサを用い、急速減圧容器内温度、電磁弁、ピストン駆動用のステッピングモータの制御を行った。定常時の急速減圧室内温度測定用の白金測温抵抗体、急速減圧中温度測定用の R 種熱電対（線径 50  $\mu\text{m}$ ）を急速減圧容器内に設置した。急速減圧容器壁から生成された部分予蒸発燃料噴霧への熱流入を抑制するため、急速減圧中および後、代替フロンを用いて急速減圧容器壁の冷却を行った。計測装置は、前述の測温抵抗体および熱電対に加え、圧力計および光学計測装置からなる。急速減圧容器内の圧力は、絶対圧力計を用いて測定した。噴霧流の平均液滴直径は、レーザー光散乱方式粒度分布測定装置 (LDSA) を用いて測定した。火炎の挙動観察は、直接写真法により CCD カメラ（露光時間：1/1000 s、フレームスピード：30 fps）で行った。噴霧流中の液滴挙動の観察は、銅蒸気レーザーによるレーザーシート法によりイメージインテンシファイア内蔵高速度ビデオカメラ（露光時間：3  $\mu\text{s}$ 、フレームスピード：3000 fps）を用いて行った。レーザーシートは、ノズル中心軸を含み、点火・保炎用電熱線に直交するように照射した。

燃料および空気を急速減圧容器内に充填・加圧した

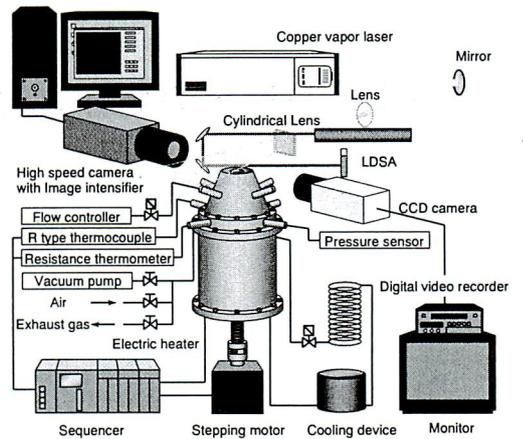


Fig. 1 Experimental apparatus.

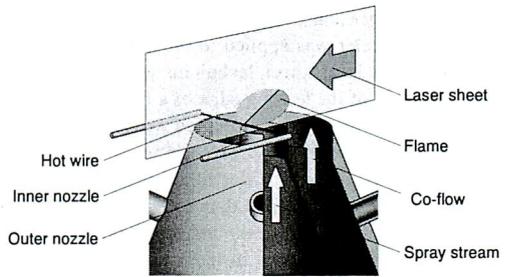


Fig. 2 Nozzle and hot wire.

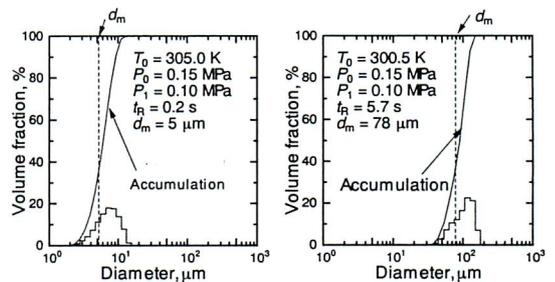


Fig. 3 Droplet diameter distributions.

後、所定の温度まで加熱した。その後、ノズル蓋に取り付けられた減圧用バルブを開くことにより容器内を急速減圧させ、均一部分予蒸発燃料噴霧を生成した。ノズル蓋を取り外した後、生成した均一部分予蒸発燃料噴霧を、ステッピングモータによって駆動されるピストンにより、ノズル出口から押し出した。噴霧流が安定した後、点火・保炎装置により、斜め平面火炎をノズル出口に保炎した。

### 2.3 実験条件

燃料および酸化剤には、エタノール（純度 99.5%）および純空気をそれぞれ使用した。平均液滴直径にはザウタ平均粒径  $d_m$  を用いた。すべての実験において、急速減圧前の混合気として飽和燃料蒸気-空気混合気を使用した。総当量比  $\phi_t$  は、急速減圧前の混合気の温度  $T_0$  および圧力  $P_0$  により決定した。気体当量比  $\phi_g$  は急速減圧後の温度  $T_1$  および圧力  $P_1$  により決定した。液体当量比  $\phi_l$  は、 $(\phi_t - \phi_g)$  と定義した。燃焼実験はすべて 0.1 MPa の圧力条件で行った。

Fig 3 に、本研究で使用した噴霧流の液滴直径分布の 2 例を示す。左のグラフは噴霧を生成する時の減圧時間  $t_R$  が 0.2 s の場合であり、右のグラフは 5.7 s の場合である。また、右のグラフの噴霧流は、液滴の沈降を防ぐため、微小重力環境で生成した。その他の噴霧生成条件はほぼ同じである。減圧時間を長くすることにより、噴霧流の平均液滴直径が増大することがわかる。また、噴霧流の平均液滴直径が変化しても、直径分布の形状がほとんど変化しないことがわかる。実験では、噴霧流の平均液滴直径の制御パラメータとして減圧時間を用いた。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 斜めに保炎された平面火炎

Fig. 4 に、噴霧流中に保炎された斜め火炎の CCD カメラ画像を示す。噴霧流はレーザーシートによって照射されており、液滴は 10 回程度の多重撮影になっている。各画像の左下で明るく光っている物は点火・保炎線である。破線で内側ノズルの出口外形、一点鎖線でノズル中心軸を示した。Fig. 4(a), (b) および (c) は、それぞれ  $\phi_t = 0.8, 1.0$  および  $1.3$  の噴霧火炎である。すべての条件において  $\phi_l = 0.2, d_m = 7 \mu\text{m}$  とし、ノズル中心軸上での青炎前縁とノズル中心軸に垂直な平面的な角度  $\alpha_{t0}$  を  $35^\circ$  ( $\phi_t = 1.3$  の場合については平均値) とした。いずれの火炎においても、青炎と噴霧の間に液滴の存在しない領域が確認された。Fig. 4(a) と (b) の写真を比較すると、(b) の火炎の方が明るく、また、噴霧流が  $x$  軸正方向により伸びていることがわかる。これは、 $\phi_t = 0.8$  の火炎と比較して  $\phi_t = 1.0$  の火炎では発熱が激しく、火炎が噴霧流を押し返す力が大きくなったからだと考えられる。また、両火炎とも、点火・保炎用熱線から遠ざかるに従って、火炎の傾きが徐々に緩やかになっていることがわかる。Fig. 4(c) の  $\phi_t = 1.3$  の場合、火炎面の振動が観察された。この振動現象については今後詳細に調べる。

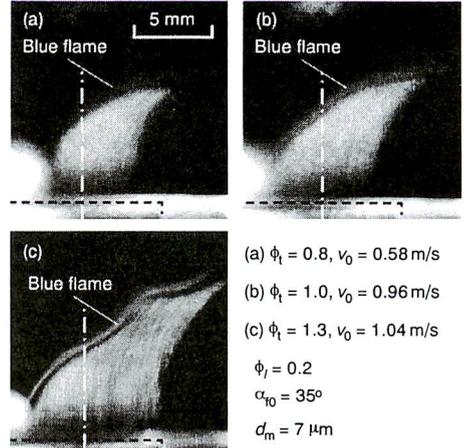


Fig. 4 Flame images for different total equivalence ratios.

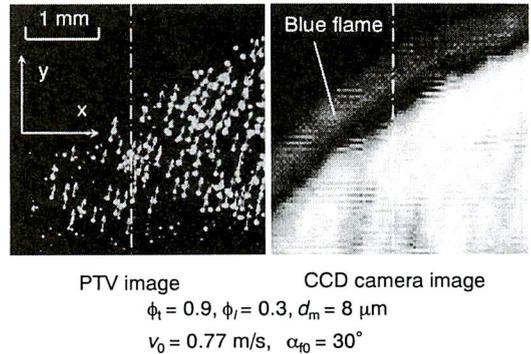


Fig. 5 Result of PTV measurement and image of flame.

#### 3.2 液滴速度の PTV 計測

Fig. 5 に、噴霧流中の液滴速度を PTV により測定した結果を、CCD カメラで同位置を同時撮影した火炎画像とともに示す。白の破線はノズルの中心軸を示している。噴霧流の性状は  $\phi_t = 0.9, \phi_l = 0.3, d_m = 8 \mu\text{m}$  であり、ノズル出口流速は  $0.77 \text{ m/s}$  である。このとき、 $\alpha_{t0} = 30^\circ$  であった。右側の CCD カメラ画像より、液滴は火炎の反応帯に突入する前にすべて蒸発が完了していることが確認できる。左側の PTV 出力画像より、斜め火炎が保炎されている噴霧流中の未燃液滴は、ノズル中心軸と直角方向に速度成分を持っていることがわかる。斜め火炎で混合気が加速されるので、その反力を未燃噴霧流が斜め下方向に受け、ノズル中心軸と直角方向に速度が発生したと考えられる。

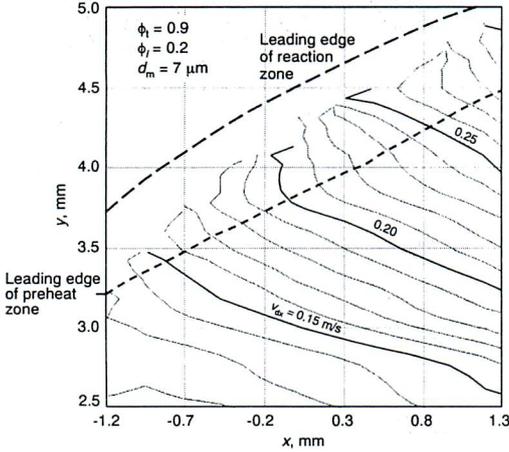


Fig. 6 Distribution of x-axis component of droplet velocity in x-y plane.

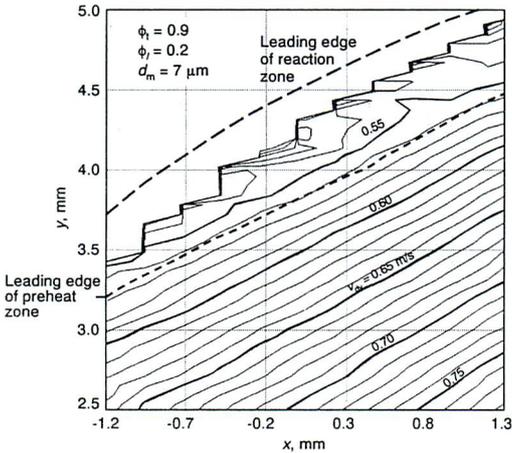


Fig. 7 Distribution of y-axis component of droplet velocity in x-y plane.

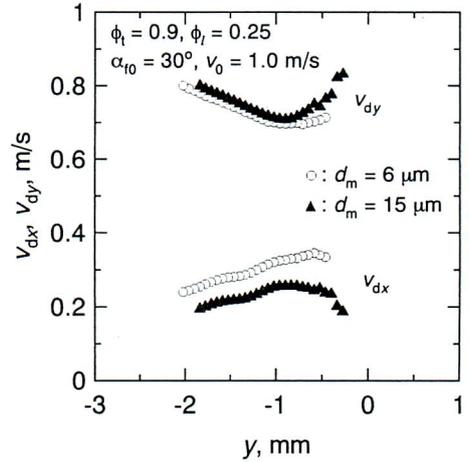


Fig. 8 Droplet velocity profiles along y-axis.

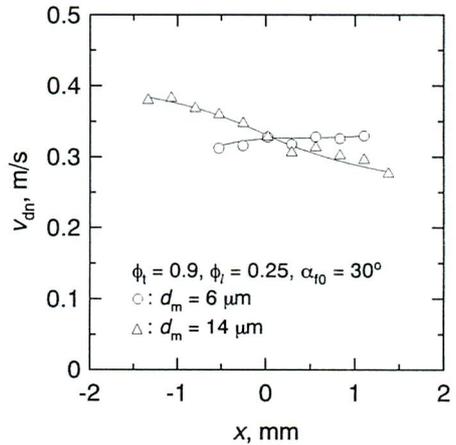


Fig. 9 Distribution of the droplet velocity component normal to a flame along the leading edge of the flame.

Fig. 6 および 7 に、 $x$ - $y$  平面（レーザーシート面）における液滴速度  $x$  軸方向成分  $v_{dx}$  および  $y$  軸方向成分  $v_{dy}$  の分布をそれぞれ示す。ここで、 $x$  軸および  $y$  軸は Fig. 5 に示されている方向であり、原点はノズル出口の中心とした。図中には、等速度線、予熱帯前縁および反応帯前縁を示した。本報での予熱帯前縁位置の定義は、3.4 節で説明を行う。図に使用したデータは、各グリッド ( $0.238 \text{ mm} \times 0.059 \text{ mm}$ ) における  $0.1 \text{ s}$  間の  $10 \sim 100$  個のデータの平均値である。 $v_{dx}$  は、予熱帯に近づくにしたがって増大し、 $v_{dy}$  は予熱帯に近づくにしたがって減少することがわかる。また、予熱帯上流では、 $v_{dx}$  および  $v_{dy}$  は、 $y$  軸方向に対してほぼ一定の傾きを有することがわかる。

Fig. 8 に、火炎上流の液滴速度分布を示す。グラフの横軸は  $y$  座標、縦軸はノズル中心軸付近（ノズル中心軸から  $x$  軸方向に  $\pm 0.2 \text{ mm}$  の幅のレーザーシート内）の液滴速度であり、 $x$  軸方向成分および  $y$  軸方向成分を示している。ここでは、 $y$  座標の原点は青炎前縁とノズル中心軸の交点とした。図中の各点は、 $0.1 \text{ s}$  間の  $10 \sim 100$  個のデータの平均値を示している。 $\phi_t = 0.9$ 、 $\phi_r = 0.25$ 、 $\alpha_{t0} = 30^\circ$  で一定とし、平均液滴直径を変化させた。両条件で、ノズル出口平均流速は  $1.0 \text{ m/s}$  で同じであった。 $d_m = 15 \mu\text{m}$  の結果から、 $v_{dx}$  は火炎に近づくにしたがって増大し、 $y = -1 \text{ mm}$  付近から減少することがわかる。 $v_{dy}$  は火炎に近づくにしたがって減少し、 $y = -1 \text{ mm}$  付近から増大することがわ

かる。  $y = -1$  mm 付近では、液滴は火炎の予熱帯に突入していると考えられる。  $d_m = 6 \mu\text{m}$  の場合、液滴速度の増減が逆転する位置が反応帯に近く、また液滴速度の増減が逆転すると急速に蒸発・消滅することがわかる。  $x$  軸方向液滴速度について  $d_m = 6$  と  $15 \mu\text{m}$  の場合を比較すると、  $d_m = 6 \mu\text{m}$  の場合の方が大きい。これは、小さい液滴は慣性が小さいので、流れに追従して加速しやすいからと考えられ、 Fig. 3 の考察を裏付けている。  $y$  軸方向液滴速度について反応帯から遠い領域を見ると、  $d_m = 15 \mu\text{m}$  の場合の方がわずかに速度が大きい。減速領域であるため、慣性の大きい液滴の方が速度が大きくなったと考えられる。予熱帯内部での液滴速度の変化については、液滴直径が変化するので、位相ドップラー流速計 (PDA) などを用いて、液滴直径と速度を同時計測して考察を行う必要がある。

Fig. 9 に、液滴が予熱帯に突入する速度の火炎垂直成分  $v_{dn}$  とノズル中心軸からの  $x$  軸方向距離の関係を示す。  $v_{dn}$  は予熱帯に突入する液滴の速度成分  $v_{dx}$ 、  $v_{dy}$  および座標  $x$  における局所火炎角度  $\alpha_f$  より、

$$v_{dn} = v_{dy} \cos \alpha_f - v_{dx} \sin \alpha_f \quad (1)$$

の式を使って求めた。ここで、局所火炎角度は、局所的な青炎前縁とノズル中心軸に垂直な平面のなす角度である。  $d_m = 6 \mu\text{m}$  の場合は、  $x$  に対して  $v_{dn}$  がほぼ一定であることがわかる。  $d_m = 14 \mu\text{m}$  の場合は、  $x$  が増大すると  $v_{dn}$  が減少することがわかる。  $d_m = 14 \mu\text{m}$  の噴霧流では、液滴が大きな慣性を有するため、  $x$  の小さい範囲では液滴があまり減速せずに火炎に突入するが、  $x$  の大きい範囲ではノズルから火炎までの距離が長いので、液滴が十分に減速するからであると推察される。このことから、  $x$  が小さい領域では液滴と気体との相対速度 (スリップ速度) が大きく、反応帯前縁での局所当量比<sup>(2)</sup>が増大していることが予想される。

### 3.3 液滴の予熱帯突入速度の噴霧流ノズル出口流速依存性

Fig. 10 に、予熱帯に突入する液滴速度火炎垂直成分  $v_{dn}$  に及ぼす噴霧流ノズル出口流速  $v_0$  の影響を示す。  $v_0$  を増大させることにより、  $\alpha_{f0}$  を増大させた。噴霧流性状は同一であり、  $\phi_t = 0.9$ 、  $\phi_l = 0.2$ 、  $d_m = 7 \mu\text{m}$  となっている。  $\alpha_{f0}$  が増大すると、すなわち  $v_0$  が増大すると、  $v_{dn}$  が減少することがわかる。また、点火・保炎用電熱線から遠ざかるにしたがって、  $v_{dn}$  は緩やかに減少し、その減少率は  $v_0$  が増大すると大きくなる。このことより、火炎における局所噴霧流性状が  $x$  軸方向に一様ではなく、ノズル出口流速が

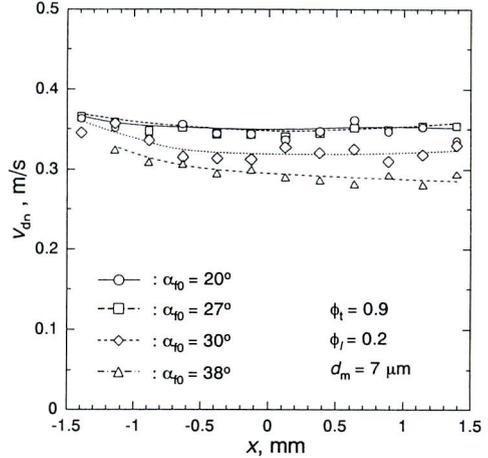


Fig. 10 Distribution of the droplet velocity component normal to a flame along the leading edge of the flame.

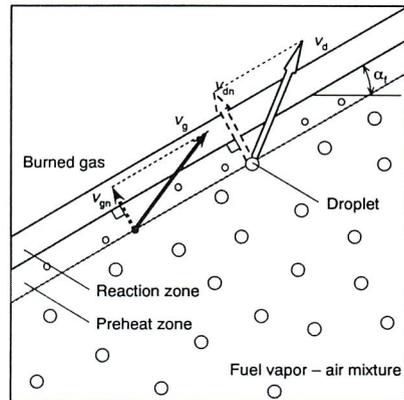


Fig. 11 Illustration of a flame.

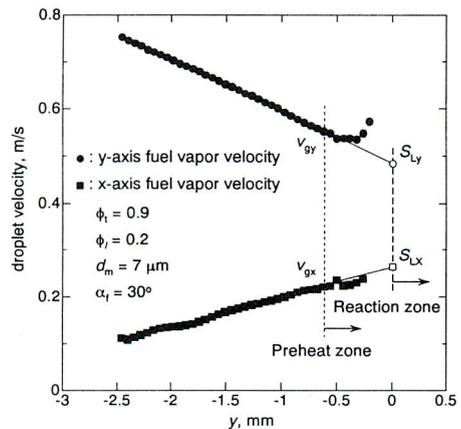


Fig.12 Droplet velocity profiles along the y-axis and definition of the burning velocity.

大きくなると一様性が低下することがわかる。

### 3.4 燃烧速度

液滴速度データを用いて、反応带上流の気体流速  $v_g$  を求めた。Fig. 11 のように簡単化した火炎を考える。液滴は周囲気体の抗力によって  $y$  軸方向には減速、 $x$  軸方向には加速するので、液滴について  $y$  軸方向の運動方程式を立てると

$$m \frac{dv_{dy}}{dt} = C(v_{gy} - v_{dy}) \quad (2)$$

となる。ここで  $v_{gy}$  は気体流速の  $y$  軸方向成分、 $m$  は液滴質量、 $C$  は比例定数である。 $x$  軸方向に対しても同様な運動方程式が得られる。式(2)を  $v_{gy}$  について解くと、

$$v_{gy} = \frac{m}{C} v_{dy} \frac{dv_{dy}}{dy} + v_{dy} \quad (3)$$

となる。ここで、 $C$  はレイノルズ数  $Re < 1$  の条件において

$$C = 3\pi\mu d \quad (4)$$

とする。液滴直径には算術平均粒径  $d_{10}$  を用いた。同様に気体流速の  $x$  軸方向成分  $v_{gx}$  を計算する。 $v_g$  は、 $v_{gx}$  と  $v_{gy}$  のベクトル合成和として求めた。気体速度の火炎垂直成分  $v_{gn}$  を次式

$$v_{gn} = v_{gy} \cos \alpha_f - v_{gx} \sin \alpha_f \quad (5)$$

から求めた。

燃烧速度は予熱帯前縁における液滴の速度を、その位置での速度勾配によって反応帯前縁まで延長した値と一致することが報告されている<sup>(5)</sup>。本研究においてもこの方法で燃烧速度を求めた。Fig. 12 に燃烧速度の算出法を示す。グラフは、気体流速の  $x$  軸方向成分および  $y$  軸方向成分の  $y$  軸方向変化を示している。ある  $y$  までは、それぞれの速度成分は直線的に変化する。予熱帯前縁の位置は、 $v_{gy}$  の  $y$  軸方向変化が直線から外れた位置、反応帯前縁の位置は、直接写真から求めた青炎前縁の位置とした。予熱帯前縁での  $v_{gx}$  および  $v_{gy}$  を上流の速度勾配で反応帯前縁まで延長した値をそれぞれ燃烧速度の  $x$  軸方向成分  $S_{Lx}$  および  $y$  軸方向成分  $S_{Ly}$  とした。燃烧速度  $S_L$  は、 $S_{Lx}$  と  $S_{Ly}$  から

$$S_L = S_{Ly} \cos \alpha_f - S_{Lx} \sin \alpha_f \quad (6)$$

として求めた。

### 3.5 燃烧速度の総当量比依存性

噴霧流の伸長は、火炎伸長を引き起こすばかりでな

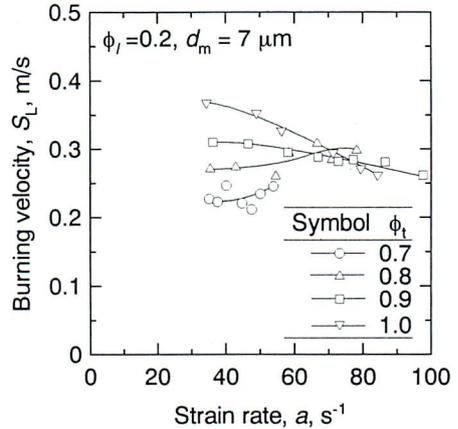


Fig. 13 Effect of total equivalence ratio on the relationship between burning velocity and strain rate.

く、噴霧流中の液滴と気体の間に相対速度を発生させる。噴霧流の伸長率は、噴霧流の燃烧速度を決定する重要なパラメータの一つである<sup>(6)</sup>。Fig. 13 に、 $\phi_t = 0.7, 0.8, 0.9$  および  $1.0$  の噴霧流について、燃烧速度の伸長率依存性を調べた結果を示す。火炎垂直方向の伸長率  $a$  は、PTV 計測結果から流速を求めた後、予熱帯前縁における  $dv_{gx}/dx$  と  $dv_{gy}/dy$  を算出し、

$$a = \frac{dv_{gy}}{dy} \cos \alpha_f - \frac{dv_{gx}}{dx} \sin \alpha_f \quad (7)$$

として求めた。液体当量比と平均液滴直径は、それぞれ  $0.2$  と  $7 \mu\text{m}$  で一定とした。すべての条件において、液滴は青炎前縁までに蒸発が完了していることが確認された。データは、噴霧流ノズル出口平均流速と燃烧速度を測定する  $x$  座標 (ノズル中心軸を中心に  $\pm 1.5 \text{ mm}$  の範囲) を変化させて取得した。 $a < 50 \text{ s}^{-1}$  の領域では、 $\phi_t < 1.0$  の噴霧流において、燃烧速度の変化が比較的小さいことがわかる。このことから、希薄噴霧流については、 $a < 50 \text{ s}^{-1}$  の領域では、局所総当量比増大および火炎伸長の影響がほとんどないと考えられる。 $\phi_t = 0.7$  および  $0.8$  の噴霧流では、 $a > 50 \text{ s}^{-1}$  の領域において、 $a$  の増大にともなって燃烧速度が増大している。このことから、 $\phi_t = 0.7$  および  $0.8$  の噴霧流に対しては、火炎前縁での局所総当量比増大の影響がこの領域では支配的であると示唆される。 $\phi_t = 0.9$  および  $1.0$  の噴霧流の場合、 $a$  の増大にともなって燃烧速度は減少する。これは当量比が変化しても燃烧速度があまり変化しない当量比領域であるために、局所総当量比増大の影響は燃烧速度の変化に現れにくく、火炎伸長が燃烧速度を低下させる影響が顕著になったと

推察される。流れの伸長率によって変化する予熱帯内での液滴蒸発完了位置が燃焼速度に及ぼす影響については、今後系統的な実験で調べる予定である。

#### 4. 結言

凝縮法によって微小燃料液滴を燃料蒸気-空気予混合空气中に均一分散させた層流噴霧流中に斜め火炎を保持し、PTVを用いた火炎の観察・計測を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 層流の部分予蒸発燃料噴霧流中に斜めに保炎された平面火炎を観察した。液体当量比 0.2, 平均液滴直径  $7 \mu\text{m}$ , 総当量比 0.8~1.3, 流れの伸長率  $30\sim 100 \text{ s}^{-1}$  の噴霧流の場合、液滴の蒸発は火炎の予熱帯において完了することがわかった。
- 2) PTV を用いて、斜め火炎が形成された噴霧流中の液滴速度を計測した。噴霧流中に火炎を保持すると、流れが伸長流になる。液滴速度は、火炎予熱帯前縁に近づくにしたがって、ノズル中心軸に平行な成分は減少し、垂直な成分は増大することがわかった。予熱帯前縁における液滴速度の火炎垂直成分は、点火・保炎線から遠ざかるに従って減少した。
- 3) 平均液滴直径  $14 \mu\text{m}$  の噴霧流の場合、液滴が予熱帯に突入する速度の火炎垂直成分は、火炎のノズルに近い部分が大きく、ノズルから遠ざかるにしたがって減少する。平均液滴直径 6 および  $7 \mu\text{m}$  の噴霧流の場合は、点火・保炎用熱線の熱的影響部を除けば、液滴突入速度の火炎垂直成分はほぼ一定である。
- 4) PTV を用いて計測した液滴速度から気体流速を算出し、燃焼速度を求めた。液体当量比 0.2, 平均液滴直径  $7 \mu\text{m}$  の噴霧流について、噴霧流の伸長率が燃焼速度に及ぼす影響を調べた。伸長率の増大に伴って、総当量比 0.7 および 0.8 の噴霧流では燃焼速度が増大し、総当量比 0.9 および 1.0 の噴霧流では減少する。

#### 謝辞

本研究は、(財)日本宇宙フォーラムが推進している「宇宙環境利用に関する地上研究公募」プロジェクトの一環として行ったものである。ここに感謝の意を表す。また、川澄郁絵氏と福田智幸氏には実験および論文作成でご助力頂きました。感謝の意を表します。

#### 参考文献

- (1) Hayashi, S. and Kumagai, S.: The Proc. Combust. Inst., 15 (1975) 445-452.
- (2) Nomura, H., Koyama, M., Miyamoto, H., and Ujiie, Y., The Proc. Combust. Inst, 28, (2001), 999-1005.
- (3) Nomura, H., Hamasaki, T. et al., SAE Paper #2003-01-0628, (2003).
- (4) Hayasaki, M., Kawasumi, I., Nomura, H. and Ujiie, Y., International Symposium on Space Technology and Science, 2004-h-17, (2004).
- (5) Deshaies, B. and Cambay, P.: Combustion and flame 82, (1990) 361-375.
- (6) Mikami, M., Miyamoto, S., and Kojima, N., Counterflow Diffusion Flame with Polydisperse Sprays, The Proc. Combust. Inst, 29, (2002), 593-599.



早崎 将司  
日本大学生産工学研究科  
〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1  
Tel. 047-474-2356  
Fax. 047-474-2349  
e-mail:

略歴: 2003 年 日本大学大学院生産工学研究科博士前期課程入学。2005 年 日本大学大学院生産工学研究科博士前期課程修了。同年いすゞ自動車株式会社勤務。大学院では、PTVを用いて噴霧燃焼の機構解明を行った。



野村 浩司  
日本大学生産工学部 助教授  
〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1  
Tel. 047-474-2356  
Fax. 047-474-2349  
e-mail: nomura@cit.nihon-u.ac.jp

略歴: 1992 年 東京大学大学院工学系研究科航空学専攻博士課程修了。同年日本大学生産工学部勤務。液滴燃焼、噴霧燃焼、および火花点火機関の点火・燃焼機構に関する基礎研究に従事。



氏家 康成  
日本大学生産工学部 教授  
〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1  
Tel. 047-474-2323  
Fax. 047-474-2349  
e-mail: ujii@cit.nihon-u.ac.jp

略歴: 1973 年 日本大学大学院生産工学研究科修士課程修了。同年日本大学生産工学部勤務。ペーンポンプ、火花点火機関および圧縮点火機関の点火・燃焼機構に関する基礎研究に従事。