

論 文

着火性におよぼす噴霧特性の影響

(第1報：粒子径，燃料濃度の影響) *1

郡司 透*2, 山崎 淳子*3, 徳岡直静*4

STUDY ON PROPAGATION LIMIT OF FUEL SPRAY

(1st Report: Effect of drop size and fuel concentration)

Toru GUNJI, Junko YAMAZAKI and Naochika TOKUOKA

To clarify the ignition mechanism of spray, the propagation rate of mono-sized methanol spray was examined. Mono-sized spray is produced by piezo-electric transducer. The ignition rate was defined as the ratio of propagated time to ignited time. All cases were tried more than 50 time of ignition.

As the drop number density is increased, the propagation rate increases rapidly at more than some critical number density, though the graduation is lower in case of gas fuel. Drop size is increased the critical number density decreases evidently, whereas the mean drop spacing increases at very small.

Key Words : Methanol Spray, Ignition, Mono-sized Spray, Propagation Limit

1. はじめに

液体燃料が燃焼する場合，液体状態で直接燃焼することではなく，液体表面から蒸発した燃料気体が周囲空気に含まれる酸素と反応して燃焼する．完全にガス化した状態の燃料では着火し得ない空燃化でも，噴霧状態であれば，燃料液滴周りの局所の空燃比が燃焼可能な状態で着火が可能となる場

合があるように¹⁾²⁾³⁾，空燃比は燃料の状態によってその最適な範囲が異なってくる．また，一つの燃料液滴が燃焼しても，その周囲に存在する液滴の状態によっては火災が伝播せずに消えてしまう．

このように，燃料噴霧の着火や燃焼の持続には，空燃比，液滴粒径，空間的な液滴の存在の仕方等が大きく影響を与えている．ここで，燃料噴霧の着火性について着目した場合，現状ではある任意の燃料噴霧場に対し，ある任意の点火装置を用いた場合の着火性を評価しているにすぎず，総括的な意味で着火性の評価がなされていない．また，燃料噴霧の着火についても定量的な定義はなされておらず，研究者独自の定義による場合が多い．

* 1 1995年3月24日原稿受付

* 2 (株)本田技術研究所朝露研究所
〒351 埼玉県朝露市泉水3-15-1
TEL 048-462-3221* 3 (株)東芝 柳町工場 特殊機器第一部
〒210 川崎市幸区柳町70
TEL 044-548-5334* 4 慶應義塾大学理工学部 機械工学科
〒223 横浜市港北区日吉3-14-1
TEL 045-563-1141 FAX 045-563-5943

そこで、着火したか否かの区別を定量的な定義によって明確にし、その上で燃料噴霧の着火性を定量的な形で評価することが必要になってくる。しかし、燃料噴霧の着火現象は、液体燃料の種類、燃料噴霧の特性、周囲空気の状態および点火装置の能力等、数多くの要因が複雑にからみあって決定付けられるものである。したがって、各要因がどの様な形で燃料噴霧の着火性に影響を与えているかを明確にした上で、着火および点火能力等を定義、評価する必要がある。

2. 研究目的

本研究では、燃料噴霧の着火性に影響を与える要因、およびそれらの相互関係を明らかにする。特に、本報では粒径の等しい単一粒径噴霧場を生成し、粒径および燃料濃度に着目し、この二つを独立に変化させ、それらが着火性にどの様な影響を与えているかを明らかにすることを目的としている。着火の判定は目視によって行い、シュリーレン法によって火災の発生状態を観察する。点火した回数と着火した回数の比を着火率と定義し、それを用いて着火性の評価を行う。

3. 実験内容

本報では、メチルアルコールの単一粒径噴霧を生成し、空気と均一に混合して様な場を作り、これを放電火花で点火し、着火、不着火を判定することにより着火率を測定する。噴霧の生成には単一液滴群発生装置を使用し、噴射する試料流量を調節して噴霧の濃度を変化させた。点火方法は点

火装置、放電時間、電極間の距離等、本実験を通して一定で行った。また、着火率は、設定された試料流量で噴射した同一の噴霧場に50回の点火を行い、着火した回数を求め算出した。

4. 実験・測定装置

本実験に用いた実験装置系統図を図1に示す。実験装置は大きく(1)噴霧生成系、(2)点火系、(3)噴霧測定系、(4)シュリーレン系に大別される。

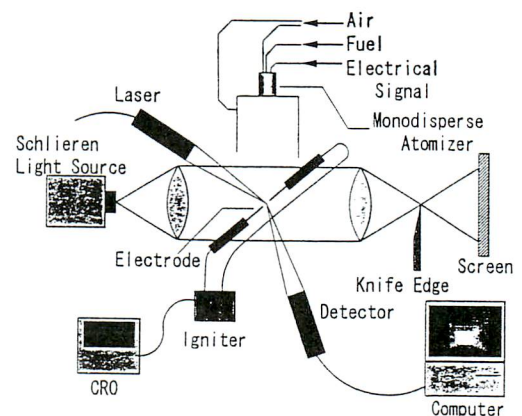


図1 実験装置系統図

噴霧生成系ではあらかじめ設定した流量の試料を、単一粒径液滴群発生装置により噴射し、液滴同士の衝突、合体を防ぐために拡散空気を供給することにより、粒径のほぼ等しい噴霧場を生成させる。図2に使用した単一粒径液滴群発生装置図を示す。

この装置は、電歪素子に規則的な交流電圧を与えると、これに接するオリフィス板が印加電気信号に対応した周波数で振動し、規則的に液柱を分断することにより、粒径のほぼ等しい液滴群を生成できる構造を持つ。この際に、液滴径 D [m] は試料の流量 Q [m³/s] と、印加する交流電流の周

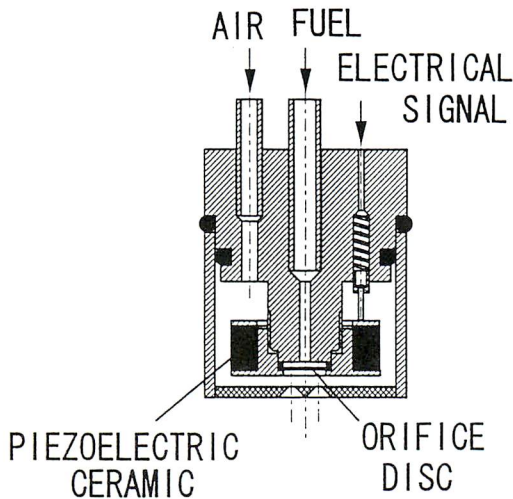


図2 単一粒径液群発生装置図

波数 f [Hz] の間に以下の関係を持つ⁴⁾。

$$D = \left(\frac{6Q}{\pi f} \right)^{1/3} \quad (1)$$

生成された噴霧粒子の速度を変化させずに噴霧の濃度を増加させる方法として、液柱の出るオリフィス数を複数にしたオリフィス板を使用した。図3に使用したオリフィス板の一例を示す。この際に生成される粒径と流量、周波数およびオリフィスの数 N との間には以下の関係で表せる。

$$d = \left(\frac{6Q}{N\pi f} \right)^{1/3} \quad (2)$$

本実験ではオリフィス数を3～8個に変

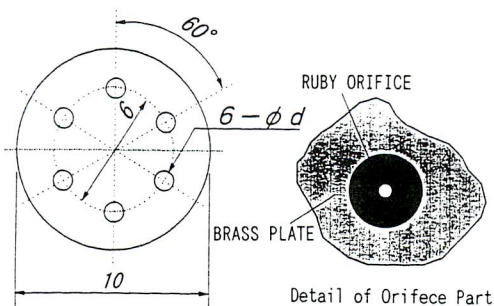


図3 オリフィス板

化させて燃料濃度を変化させた。また生成される液滴径の範囲はオリフィスの径によって制限されるため、本実験ではオリフィスの径が $70\mu\text{m}$ 、 $80\mu\text{m}$ 、 $90\mu\text{m}$ の3種類を使用した。粒子群は上下2カ所から供給される拡散空気によって拡散され、点火部位近傍において、燃料濃度の比較的等しい噴霧場を作成することを可能とした。

点火装置にはソリッドステート型点火トランスを用いて高周波放電を行った。また、タイマによって導通時間をコントロールすることにより、放電時間を制御した。点火用電極が流れ場に与える影響を最小限にするために、直径1mmのステンレス鋼の管の下端から10mm下流に、流れに対して放電火花が直交するように設置した。本研究の範囲では、放電周波数25kHz、放電時間50msで一定とした。この時の電圧、電流波形は回路中に高電圧用プローブとカレントプローブを取り付け、オシロスコープ上の波形を写真に撮影した。得られた画像を画像処理装置により取り込み、計算機処理によって点火エネルギーを求めた。放電期間の全エネルギー量は0.8Jであった。

一方、噴霧の測定には位相ドップラ粒子測定装置を使用し、個々の粒径、および液滴速度を同時に測定した。着火状態の観察には、直接目視およびシュリーレン法を用いた。

5. 実験条件

表1に本実験における設定項目とその設定値を示す。

表1 実験条件

設定項目	設定値
燃料	メタノール
電極間距離	3 [mm]
初期粒径	130 [μm]
	155 [μm]
	180 [μm]
燃料温度	290 [K]
放電時間	50 [ms]
周囲空気温度	295 [K]

6. 実験結果および考察

6. 1 実験場の特性

測定部位での粘度分布の一例を図4に示す。測定によると、液滴の90%が算術平均粒径 d^{10} を中心とする $\pm 5\%$ 中に入っている。この粒度分布で大粒径側にある小さなピークは、2個の液滴が合体してできた物と思われる、その粒径は最大ピークの液滴径の $2^{1/3}$ 倍である。設定した試料流量および周波数での、初期粒径から蒸発量を計算したところ、実験点に到達するまでに約20%蒸発していることがわかった。

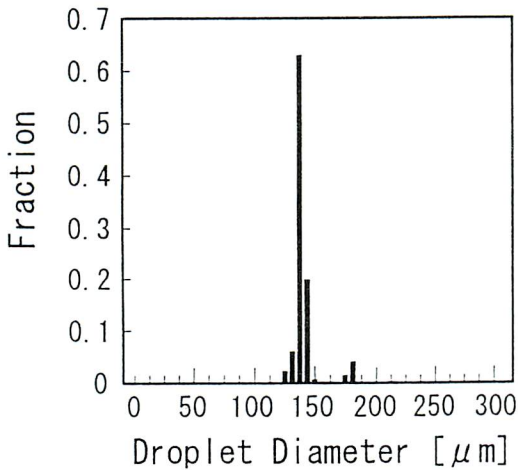


図4 粒度分布

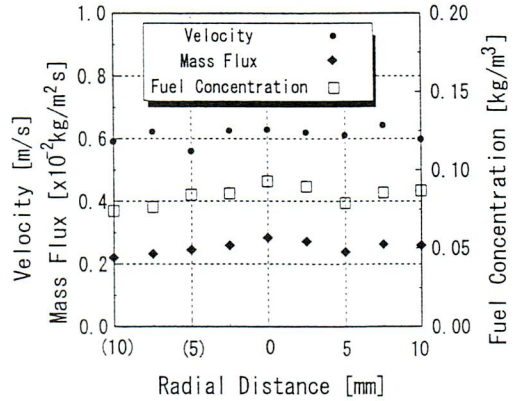


図5 噴霧特性

図5に、点火用電極が設定されている噴霧流断面における液滴速度、燃料濃度、流速の一例を示す。燃料濃度は液滴と燃料蒸気が同時に測定部に存在すると仮定し、初期粒径および数密度を基に算出した。これらの結果より、本実験装置により生成した噴霧場は、点火用電極から直径約20mmの範囲で、粒径および噴霧濃度が巨視的にはほぼ一定であることが確かめられた。

6. 2 着火率

本実験における着火状態は次の様に分類することができた。

- (1) 火災が全く発生しない。
- (2) 点火用電極近傍において小さな火災が発生し、上方に伝播せずに消滅する。
- (3) 炎が上方に伝播する。

本実験においては(3)の場合を着火と定義し、粒径および燃料濃度が着火率に及ぼす影響を調べた。

燃料濃度が着火率に及ぼす影響を図6に示す。図から明らかなように、燃料濃度が増加するにつれて、着火率は増加している。これは気体燃料の場合に見られる着火率の急激な増加²⁾にくらべ緩やかであり、噴霧の

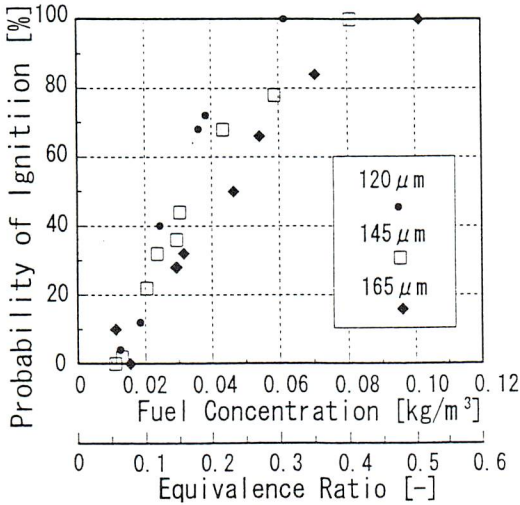


図6 燃料濃度が着火率に及ぼす影響

着火を特徴付けるものである。この傾向は噴霧の粒径が大きくなるにつれて顕著になることが確かめられた。

これは、図5で示したとおり、巨視的には均一な場を生成できるが、局所的、瞬間的には燃料濃度にばらつきが存在するため、液体と気体が存在する噴霧の場合には、局所的に燃料濃度に分布ができることに起因し、火災が伝播する際に、火災近傍での燃料液滴の存在確率の問題が関わってくるためと思われる。

6. 3 液体燃料の着火性における局所的な燃料濃度の影響

燃料噴霧の着火では、燃料が完全に気体になっている状態とは違い、局所において燃料濃度がばらつくという特徴があり、このことが、燃料噴霧の着火は燃料気体の着火よりも着火率の変化割合が緩やかにしている要因の一つであると思われる。このばらつきを、点火時の点火線周りの燃料濃度について確率（ある瞬間にある体積中にどれだけの液滴が存在するか）として求める

ことにより、着火率の濃度変化における変化を解析する。ここで、図7に示すように液滴N個が体積V中にランダムに存在している場において、その中の微小体積v中に液滴がn個存在する確率はP_nは

$$P_n = {}_N C_n \left(\frac{v}{V} \right)^n \left(1 - \frac{v}{V} \right)^{N-n} \quad (3)$$

である。

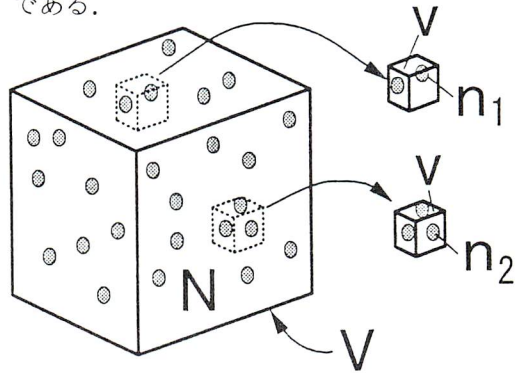


図7 液滴の存在確率

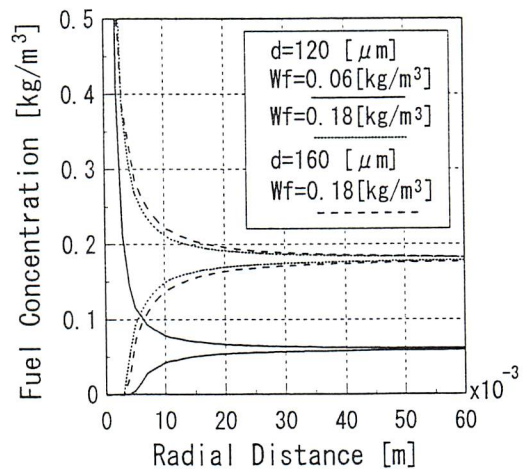


図8 燃料濃度のばらつき

図8に、注目する体積を変化させた場合に、粒径dの均一粒径からなる噴霧群の燃料濃度がどの程度のばらつきを持つかを示す。各々の条件を示す2本の曲線の内、上

側の線は平均濃度に対し $+2\sigma$ の燃料濃度を示し、下側の線は -2σ の燃料濃度の限界を示す。したがって、注目する体積内に存在する燃料濃度のあらゆるケースの内、平均濃度 $\pm 2\sigma$ 内の濃度となるケースは上限と下限の線の間であり、あらゆるケースの内、95%がこの範囲に含まれることになる。注目する体積を大きくする程、95%のケースが存在する上限と下限の燃料濃度差は、巨視的に見た平均濃度に近づく。注目する体積が小さい場合は、巨視的な燃料濃度が異なっても、局所では燃料濃度が等しい場合や、逆転するケースが存在する。また、粒径が大きい場合は燃料濃度のばらつきが一定値に近づくまでに必要な体積が大きくなる。

火花の体積を、点火用電極距離を直径、放電時間内に液滴が移動する距離を長さとした円柱として、実験に使用した三種類のメタノール単分散噴霧の濃度にばらつきから、当量比に対する着火率の変化を試算した。計算に当たっては、実験で得られた着

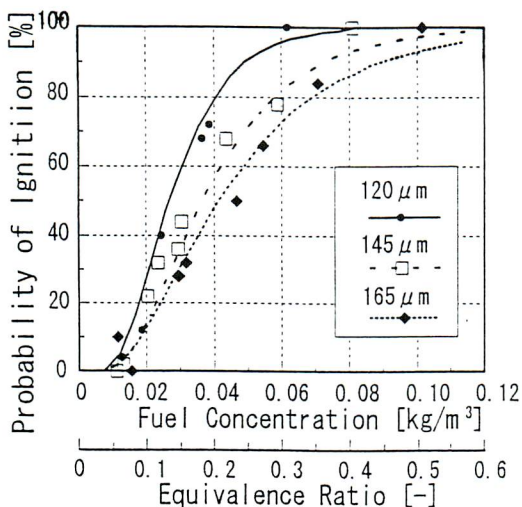


図9 局所的な燃料濃度を用いた着火率

火率50%の濃度以上で着火可能と仮定した。計算結果を図9に示す。計算結果と実験値はよく似た傾向を示しており、液滴径が大きくなるのにもない、燃料濃度の増加における確率の増加割合が緩やかになっていくのが分かる。以上のことにより燃料濃度のばらつきは、着火性の変化の度合いを決定する要因の一つと思われる。

7. 結論

本報では、燃料噴霧の着火性を解析するために、液滴径の等しい単分散噴霧場を作成した。さらに粒径および燃料濃度を変化させることにより、その着火性に及ぼす影響を調べた結果、本実験範囲では以下の様な知見を得た。

- (1) 燃料濃度の増加とともに着火率は緩やかに増加する。
- (2) 液滴径が大きくなるに従い、燃料濃度における着火率の変化の度合いは緩やかになる。
- (3) 燃料濃度のばらつきは液滴径が大きくなるに伴い増大し、着火性の変化の度合いを緩やかにしている要因の一つと思われる。

参考文献

- 1) S.Hayashi, S.Kmagai;18th Symp. (Int'l) on Combustion (1981), 361.
- 2) 吉田 肇, 他2名;機論(B), 56-528, (1990), 2483.
- 3) 吉田 肇, 他2名;機論(B), 56-528, (1990), 2490.
- 4) Richard N. Berglund, etal;Env. Sci. & Tec., 7-2 (1973), 147.