

## 着火性に及ぼす噴霧特性の影響

(第2報: 蒸気燃料濃度の影響)

STUDY ON IGNITABILITY OF FUEL SPRAY  
(2nd Report : Effect of Gaseous Fuel Concentration)

京徳 信夫, 鈴木 達也, 中馬 弘勝, 劉 京夷, 徳岡 直静

(Nobuo KYOTOKU) (Tatsuya SUZUKI) (Hirokatsu CHUMAN) (Kyoung Suk YOO) (Naochika TOKUOKA)

いすゞ自動車(株) 慶應大学 慶應大学 慶應大学 慶應大学

(Isuzu Motors Ltd.) (Keio Univ.) (Keio Univ.) (Keio Univ.) (Keio Univ.)

For the purpose of making clear the relation between liquid fuel spray characteristics and ignitability, the effect of gaseous fuel concentration on the ignitability of liquid fuel spray were experimentally investigated. The mono-dispersed methanol liquid fuel spray was mixed with prevaporized fuel-air mixture in a chamber and ignited by a capacitive discharge spark. A large number of ignition was attempted at a given mixture, of which the concentrations of liquid fuel and prevaporized fuel were controlled. In order to estimate the ignition characteristics, ignition probability was defined as the ratio of ignition in success to the number of trial. Flame patterns appeared in all attempts were classified into 4 groups in its behavior and the frequency of each group was measured.

The liquid fuel spray starts to ignite and flame propagates at extremely lean condition compared with gaseous fuel only. The ignition probability increases with the increase of the fuel concentration, but the increase rate is much lower than one of gaseous fuel. The ignition probability increases slowly with the increase of the gaseous fuel concentration under the given liquid fuel spray condition. The tendency of ignition probability change depends on liquid fuel concentration. The ignitability increases with the decrease of droplet diameter within this study. When the spray droplets are large, there are some cases where the ignitability of liquid fuel spray shows less than one of gaseous fuel even if the total fuel concentration is over the lean ignition limit of gaseous fuel.

*Key Words : Mono-dispersed Methanol Spray, Spark ignition, Ignition probability, Ignition Limit, Gaseous Fuel Concentration*

## 1. はじめに

液体燃料噴霧の燃焼過程における着火は燃焼器の機能を満たす上で確実に実現しなければならないものであり、またその現象は燃料噴霧の状態、周囲空気の状態、点火条件などの種々の要因が複雑に絡み合って成り立つものである。この着火過程が不完全であると、燃焼器としての機能を果たせないだけでなく、有害な未燃ガスの排出、また引火や爆発の危険性を生じてしまう。よってこれらの問題を改善するためには燃料噴霧の着火性を定量的に評価し、また着火性とそれを左右する種々のパラメータの間にある関係を知ることが重要課題となり、火炎の発生する局所における混合気

の状態と発火を引き起こすエネルギー源との関係を明確にした基礎研究が必要となる。

本研究では燃料噴霧特性とその着火性との相関の解明を前提とし、前報では噴霧の液体燃料濃度を決定する液滴の粒径、数密度に注目して実験をおこなった<sup>(1)</sup>。本報では噴霧特性のなかでも、火炎の発生および成長に大きく寄与すると考えられる混合気中の蒸気燃料濃度に着目し、研究目的を“蒸気燃料がどのくらいの濃度で燃料噴霧の着火性にどのように影響を及ぼすか、またその影響の度合いが噴霧を構成する液滴の粒径および液体燃料濃度によってどう変化するかを知る”こととした。

## 2. 実験概要

本実験では火炎が発生する位置およびそこでの混合

気の状態を明確にして着火性と関連付けるため、点火エネルギーなどの制御が容易である容量火花放電による定常な燃料噴霧流の着火現象を実験の対象とし、また着火性と噴霧特性との相関を独立して調べるため、点火条件および雰囲気流の設定を一定として、噴霧特性のみを変化させた。

燃料には単一成分であるメタノールを用い、噴霧を構成する液滴径の違いによる着火性の変化を調べるために、比較的粒径の揃った狭分散噴霧を定常的に生成した。また、本研究では、点火位置における蒸気燃料濃度が燃料噴霧の着火性に与える影響を明らかにする目的から、別系統でメタノールの予蒸発予混合気を生成し、その燃料濃度を变化させることで点火位置における蒸気燃料濃度を变化させ、火花放電による点火試験をおこなった。

燃料噴霧の着火性を評価するにあたり、火花放電により生ずる現象を着火および不着火に判別し、繰り返し点火試験をおこない着火率を求めた。また、発生する火炎の形態をさらに分類し、液体燃料濃度、蒸気燃料濃度および粒径を变化させた際に、それぞれの火炎形態の出現頻度を求めた。

またメタノールの予蒸発予混合気の点火試験により希薄着火限界を求め、これを燃料噴霧の点火試験における蒸気燃料濃度の影響を判断する上での基準として、液体燃料の微粒子の存在が着火性に及ぼす影響を評価した。

### 3. 実験装置

本実験に用いた実験装置概要図を図1に示す。実験装置は大別して(1)混合気生成系、(2)点火装置系、(3)測定装置系、(4)混合室に分けられる。

混合気生成系は狭分散噴霧生成装置と蒸気燃料生成装置からなり、前者については前報<sup>(1)</sup>において示したものと同一であるので説明を省略する。後者は液体のメタノールをチューブボイラ(リボンヒータにより加熱した銅製パイプ)中を空気と共に流し、完全に気化、混合させるものである。蒸気燃料生成装置の概略図を図2に示す。加熱されたままの予混合気は冷却水に浸されたパイプ中を流れながら室温付近まで冷却される。こうして生成された蒸気燃料(-空気予混合気)を二系統に分け、噴霧拡散用、希釈用として混合室中に流し込む構造とした。

点火装置には前報と同じソリッドステート型点火トランスを用い、容量火花放電をおこなった。なお、電極は混合気の流れに対して垂直に火花が飛ぶように設置した。

噴霧の測定には前報と同様に、位相ドップラ粒子測

定器を使用し、測定された個々の液滴径および液滴速度から点火位置における空間的な液体燃料濃度を求めた。一方、点火位置における蒸気燃料濃度は図3に示すサンプリングプローブおよびガスクロマトグラフィを用いて測定を試みた。

サンプリングプローブは二重管構造になっており、内管、外管の吸引流速を調節することにより付着液滴

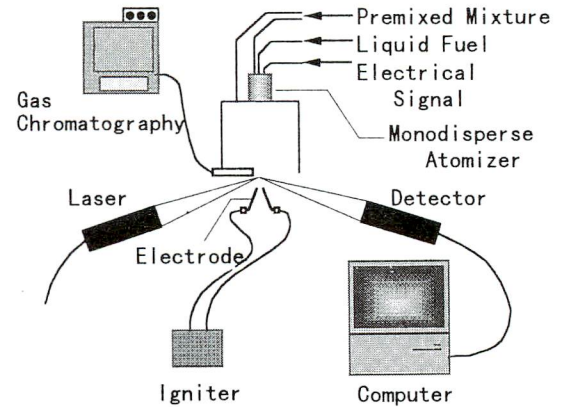


Fig.1 Experimental apparatus

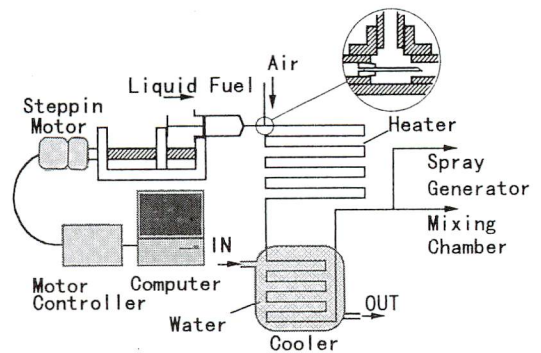


Fig.2 Equipment for pre-vaporized, pre-mixed mixture supply

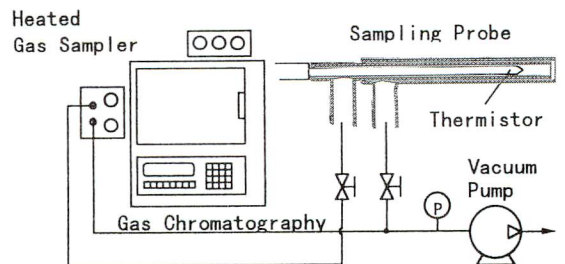


Fig.3 Equipment for vapor phase measurement

による影響および液滴を直接吸引することによる影響を最小限とした。

4. 着火現象の観察および火炎形態の分類

混合気の燃焼現象を観察する手法には、生成される物質を火炎中または燃焼ガス中でサンプリングし、物質の種類、生成量などから燃焼状態を類推するもの<sup>(11)</sup>、火炎中の生成物による自発光をとらえるもの<sup>(12)(13)</sup>、温度、濃度による気体の屈折率の違いを利用するもの<sup>(8)</sup>、直接写真によるもの<sup>(7)(14)</sup>などが挙げられる。さらに、これらを空間的に拡張し、時系列で追うことにより燃焼現象を様々な評価法を用いて観察することが可能である。しかし、本研究で扱うような希薄な燃料噴霧の着火現象では、放電時の火花近傍における液滴の分布が不確定であるため、着火または不着火、火炎の進行方向、進行する速度および進行可能な範囲などが不規則かつ予測不可能である。このように不確定である希薄な燃料噴霧の着火現象を上述したような手法により定量的に評価するのは非常に困難となる。よって本研究では燃料噴霧の着火現象を確率的な現象として捉え、着火のしやすさのみを評価の対象とし、着火現象の観察を目視によりおこなった。

点火試験の予備実験を繰り返しおこなうことにより、火花放電により生成される火炎の形態を次の4種類に分類した(図4)。

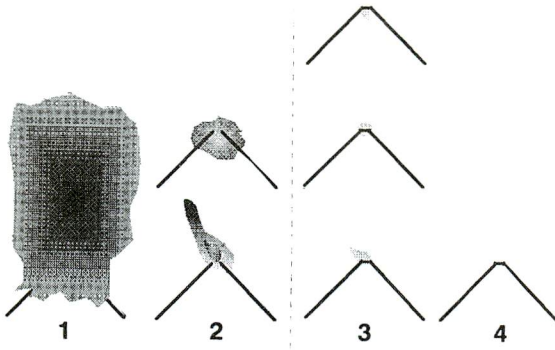


Fig4 Typical flame patterns generated by spark discharge

- (1)火花放電によって火炎が生じ、一定時間保持。
  - (2)生じた火炎が火花から独立して進行するが、間もなく消炎。
  - (3)火花放電と同時に小火炎が生ずるが、伝ばに至らず瞬時に消滅。
  - (4)火炎が認められない。
- ここで本研究では(1),(2)を着火、放電火花に付着

し、瞬時に消滅する(3),(4)を不着火とした。

5. 実験条件

本研究における実験条件を表1に示す。

Table.1 Experimental conditions and specifications

item	value
fuel	methanol
representative diameter, d	120, 145, 175 $\mu\text{m}$
monodispersed spray	more than 80w% within $\pm 10\mu\text{m}$ of d
liquid fuel concentration	0~0.06 $\text{kg}/\text{m}^3$
gaseous fuel concentration	0.006~0.12 $\text{kg}/\text{m}^3$
ignition trial	200~1000 times
vapor phase temperature	287 $\pm$ 4 K
droplet mean velocity	0.5~0.6 m/s (120, 145 $\mu\text{m}$ ) 0.9~1.0 m/s (175 $\mu\text{m}$ )
vapor phase mean velocity	0.15~0.20 m/s
ignition point	500 mm (from the atomizer)
ignition energy	0.8 J
electrode gap	3 mm ( $\phi$ 1)

6. 結果および考察

6.1 予蒸発予混合気の着火限界

メタノール予蒸発予混合気の火花点火試験により得られた当量比および燃料濃度と着火率の関係を図5に示す。当量比に対する着火率の変化をみると、着火可能となる当量比( $\phi=0.58$ )と着火率100%となる当量比( $\phi=0.59$ )が極狭い範囲に存在し、かなり急勾配の曲線

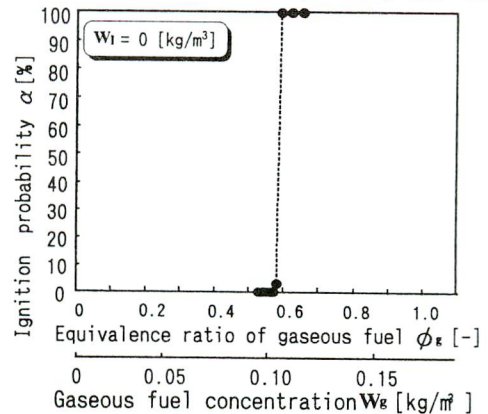


Fig.5 Ignition probability of prevaporized, premixed mixture

となった。これより本実験の条件下におけるメタノール予蒸発予混合気の希薄着火限界は $\phi=0.59$ とすることができ、より小さな点火エネルギーおよび狭い電極間距離を用い、圧力変動から着火判定を行ったNaegeliら<sup>(3)</sup>による実験結果( $\phi=0.67$ )よりもかなり希薄な値となった。

また、点火条件を一定とした場合、空間的、時間的にほぼ均一である予蒸発予混合気の着火性には液体燃料噴霧にみられる確率的な要素がほとんどみられず、火花放電によって生じる火炎形態の頻度変化を観察すると、燃料濃度が同じであれば火花放電により生じる火炎は常に同様のものであった(図6)。

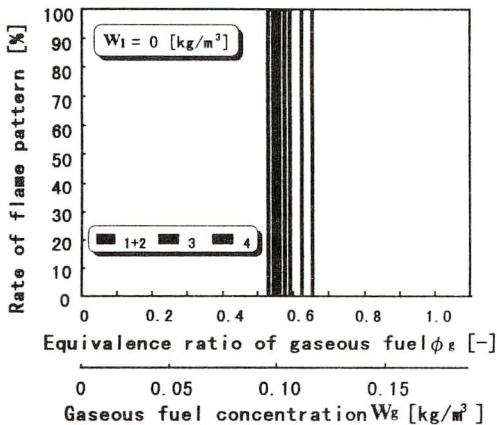


Fig.6 Rate of flame pattern of prevaporized, premixed mixture

### 6.2 自然蒸発による蒸気燃料を含む燃料噴霧混合気の着火率

粒径の揃ったメタノール狭分散噴霧の点火試験を120 $\mu\text{m}$ , 145 $\mu\text{m}$ , 175 $\mu\text{m}$ の三粒径についておこない、点火位置における平均的な燃料濃度を变化させた場合の着火率变化を調べた。その結果を予蒸発予混合気の着火率变化とともに図7として示す。実験では液体燃料濃度のみを操作したがそれにもなって变化する蒸気燃料が存在するため、横軸には液体燃料と自然蒸発により液滴から生じた蒸気燃料を合わせた総当量比を用いた。

狭分散噴霧は予蒸発予混合気の希薄着火限界をかなり下回った燃料濃度において着火可能となり、燃料濃度に対する着火率の変化も予蒸発予混合気と比較して緩やかな勾配をもつ曲線となった。これらの現象は混合気中の液滴の存在によるものであり、時間平均および空間平均の燃料濃度が予蒸発予混合気の希薄着火限界以下であっても放電火花体積のような微小領域においては着火可能となる混合気がランダムに形成され、

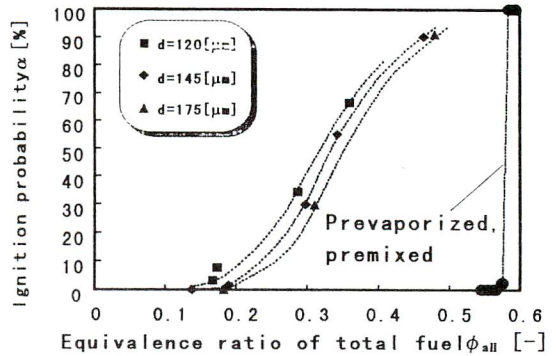


Fig.7 Ignition probability of liquid fuel spray, compared with prevaporized, premixed mixture

また火炎の伝ばのしやすさも液滴の位置関係および数密度によりランダムに変化するためである。これらの液体噴霧による希薄着火限界の拡大および着火率変化の様子については過去の研究報告<sup>(4-8)</sup>と同様の結果が得られた。

また粒径による着火率変化の違いを観察すると、どれも同様の曲線となり、同一総当量比を比較すると粒径の小さい方がわずかに高い着火率となっている。しかし、実際には粒径、燃料濃度が異なれば蒸発により生じた蒸気燃料濃度および液体燃料濃度との比率が異なるため厳密な評価は困難である。よって蒸気燃料濃度の影響、粒径によるその違いについては6.3において考察する。

次に液体燃料濃度(および自然蒸発による蒸気燃料濃度)を变化させた場合の火炎形態の出現頻度変化を図8として示す。

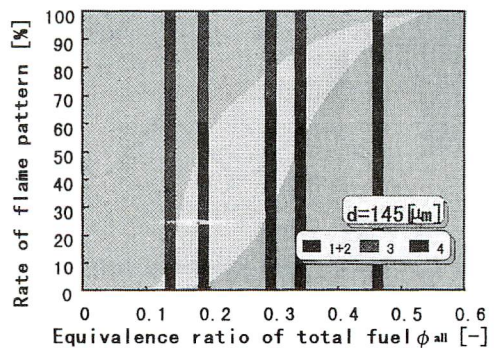


Fig.8 Rate of flame pattern of liquid fuel spray

火炎形態の頻度変化を燃料濃度によって分割すると、燃料濃度の少ない側から、放電火花に全く反応することのない領域、放電火花によって火炎が生成されるが着火、不着火の現象が不確定である領域、燃料濃度が

十分であり、かならず着火に至る領域、とすることが出来る。これらのうち不確定な着火性を示す領域の存在が、燃料噴霧の着火性が予蒸発予混合気の着火性と大きく異なる特徴となる。この着火、不着火の不確定な領域をさらに観察すると、燃料濃度の増加とともに火炎形態(3)が急激に増大し、その後さらに燃料濃度をあげると徐々に火炎形態(1+2)が増加し始めている。Hayashiら<sup>(15)</sup>は、放電火花によってひとつでも液滴に火がつく確率とその後その火炎が伝ばに至る確率との積で燃料噴霧の着火率を表すことができるとした。火炎形態(3)は放電火花に反応して小火炎を生じたにもかかわらず、その小火炎自身のもつ熱エネルギーの不足、また周囲の混合気の状態により、その後の伝ばに失敗したものと考えられ、さらなる燃料濃度の増加により、放電火花に反応しやすくなり、かつ伝ばに至る確率も増加して結果的に着火に至る割合が徐々に多くなる。

### 6.3 蒸気燃料濃度の増加による燃料噴霧の着火率変化

点火位置における液体燃料濃度を一定として蒸気燃料濃度を強制的に増加させた場合の着火率変化を、粒径120 $\mu\text{m}$ 、145 $\mu\text{m}$ 、175 $\mu\text{m}$ の順に図9(a)~図9(c)に示す。ここでは縦軸に着火率、横軸に蒸気燃料濃度のみをとり、図中の破線で結ばれた点は等液体燃料濃度のものである。

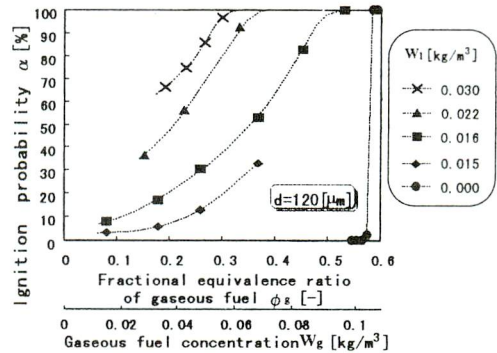
液体燃料濃度を一定として蒸気燃料濃度を増加させると、当然、着火率は増大する。また同一粒径で比較するとその増大の仕方は液体燃料濃度により異なり、液体燃料濃度が低い場合(例えば $d=145\mu\text{m}$ ,  $W_l=0.014\text{ml}$ および $0.019\text{ml}$ の場合)には、はじめ緩やかに上昇し、ある蒸気燃料濃度から勾配が急になる傾向が強く現れ、一方、液体燃料濃度が高い場合( $d=145\mu\text{m}$ ,  $W_l=0.038\text{ml}$ および $0.030\text{ml}$ の場合)には、蒸気燃料濃度が低くても比較的急な勾配をもつ曲線を示した。

液体燃料濃度が高ければ、放電時に火花体積内に十分な数の液滴が存在する確率が高く、特に本実験で使用しているメタノールのような高揮発性燃料の場合には蒸発によって火花放電と同時に形成される蒸気燃料濃度も高い。そのため比較的少量の蒸気燃料付加によって火炎の形成、伝ばを促進して格段に着火しやすくなると考えられる。一方、液体燃料濃度の低い場合には火花放電と同時に十分な蒸気燃料濃度に達する確率が低いため、火炎形成に至らず、また小火炎を形成しても十分なエネルギーをもたないために伝ばせずに消滅する。結果として液体燃料濃度により確実に着火を実現するために必要な蒸気燃料濃度にかかなりの違いが生じ

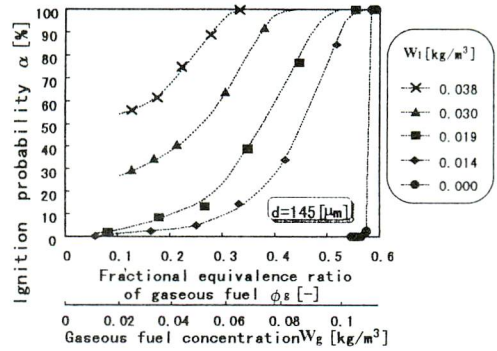
ている。また液体燃料濃度をさらに低くすればこれらの曲線は蒸気燃料濃度の低い側で着火率が0%に近づき、最終的には予蒸発予混合気の曲線に重なるはずである。

それぞれの粒径を比較すると、どの粒径についても上述した傾向が同様に現れており、粒径の違いによって蒸気燃料濃度が着火率の増加割合に与える影響が顕著に異なることはないようである。

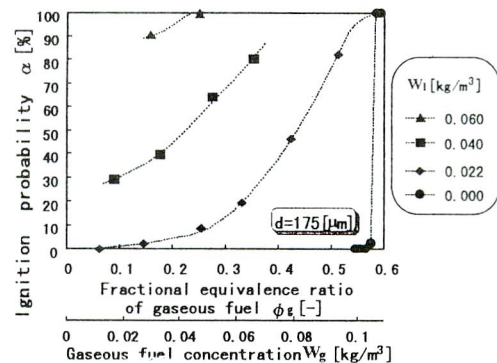
また、液体燃料濃度の違いによる蒸気燃料濃度の影



(a)  $d=120\mu\text{m}$



(b)  $d=145\mu\text{m}$

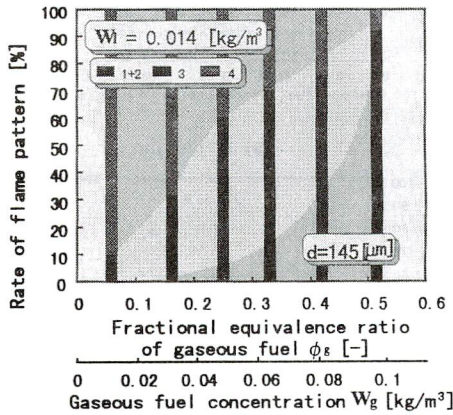


(c)  $d=175\mu\text{m}$

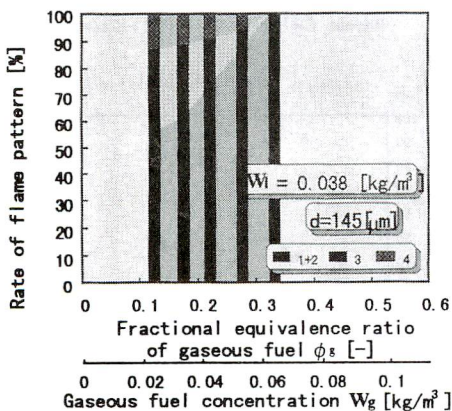
Fig.9 Effect of gaseous fuel concentration

響を火炎形態の出現頻度変化からみると、上述したような液体燃料濃度が希薄であり蒸気燃料濃度の増加に対して着火率が緩やかに増加する領域、また液体燃料濃度が十分大きく少量の蒸気燃料濃度の増加によって着火率が增大する領域によってそれぞれ異なる火炎形態の変化をしている(図10)。

まず、粒径によらず液体燃料濃度がかなり希薄でほとんど着火し得ない条件 ( $W_l=0.014\text{ml}$ ) では、蒸気燃料濃度を増加させていくと、火花に対して反応のない形態(4)が減少しつつ、火炎形態(3)の割合が緩やかに増大するがその後にさらなる伝ばに至ることができず、着火と判定する火炎形態(1+2)の割合はあまり変化しない。さらに蒸気燃料濃度を増加すると火炎形態(4)の減少にともなって火炎形態(3)が伝ばに至るようになり、ある濃度から急激に火炎形態(1+2)が増加する。



(a)  $W_l=0.014\text{ kg/m}^3$



(b)  $W_l=0.038\text{ kg/m}^3$

Fig.10 Effect of gaseous fuel concentration on rate of flame pattern

ある蒸気燃料濃度から急に着火率が增大する傾向は予蒸発予混合気の着火形態に類似するものである。

一方、液体燃料濃度が十分濃い場合 ( $W_l=0.038\text{kg/m}^3$ ) には、噴霧液滴の数密度が高く、小火炎を生じさせる確率が高い上に、その小火炎は多くの液滴を含むので高い熱エネルギーをもち、伝ばに至る確率も高いと推測できる。よってわずかな蒸気燃料濃度の増加によってより確実に小火炎を形成することができ、より確実にその後の伝ばに至るようになる。蒸気燃料濃度増加による火炎形態(4)の減少がわずかであることを考慮すると、こうした条件においては、蒸気燃料は小火炎形成よりも小火炎からの伝ばに大きく寄与しているものと考えられる。

#### 6.4 液体燃料濃度と蒸気燃料濃度の着火促進効果

図9の着火率変化を示した曲線をもとに縦軸に液体燃料濃度、横軸に蒸気燃料濃度を取り、着火率が10%ごとにプロットしたものを図11に示す。

ここで破線が等着火率曲線、細線が等燃料濃度直線となり、破線の疎密が着火率変化の度合いを表している。また液体燃料濃度と蒸気燃料濃度を区別できるため、それぞれが着火性に及ぼす影響をそれぞれ独立して考慮することができる。

どの粒径においても蒸気燃料濃度が希薄着火限界 ( $W_g=0.107\text{ kg/m}^3$ ) 近くになると蒸気燃料濃度の変化に対して著しく着火率が変化するが、そのほかの範囲では蒸気燃料と比較して液体燃料濃度の低い側に集中した等着火率曲線となり、液体燃料濃度の変化が着火率を増大させるのに有効であることがわかる。とくに粒径の小さな噴霧については他と比較して非常に密な等着火率曲線となっている。すなわち、より少量の燃料濃度において着火し始め、より低い燃料濃度増加によって急激に着火率をあげることが可能であり、本実験の粒径範囲においては最も着火性に優れているといえる。

$45^\circ$  の傾きをもつ細線が等燃料濃度直線であるので、等着火率曲線がこれよりも小さな傾きであれば液体燃料の増減によって、大きな傾きであれば蒸気燃料の増減によって着火率がより大きく変化する。

$175\mu\text{m}$ の図を概略化したものを図12に示す。

粒径が大きい場合(とくに $175\mu\text{m}$ )に限るが、上述したように蒸気燃料濃度が十分高く希薄着火限界に近い場合には液体燃料濃度を増加するよりも蒸気燃料濃度を増加させた方がより急激に着火率が增大する状態が存在する。このような場合、等着火率曲線上において接線が $45^\circ$ の傾きとなる点における液体燃料濃度一

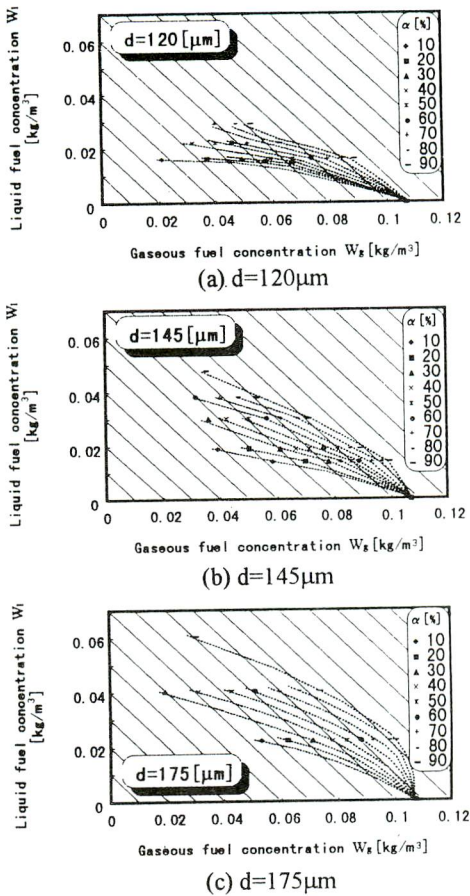


Fig.11 Comparison of effect on ignition between  $W_l$  and  $W_g$

蒸気燃料濃度比がその着火率を実現するためにもっとも総燃料濃度を多く必要とすることとなる(点B)。

また175 $\mu\text{m}$ に特徴的であるが、予蒸発予混合気の着火限界を超えた総燃料濃度であっても不着火となる条件が存在し、総燃料濃度一定で噴霧液滴が混在することにより着火性が著しく低下することがわかる(領域A)。これは噴霧液滴による着火抑制作用によるものではなく、粒径の小さい場合と比較して液体燃料濃度あたりの着火促進作用が小さいためである。

水谷ら<sup>(9)(10)</sup>および吉田ら<sup>(6)(7)(8)</sup>がおこなった実験では燃焼速度および着火率を最大にする噴霧添加量の最適値、また同一当量比における液体燃料-気体燃料の最適混合比が得られている。しかし本研究では揮発性の高いメタノールを用いたので、液体燃料の過多による着火抑制作用が現れるような条件が実現できず、等総燃料濃度において着火率を最大とする最適混合比は得られなかった。

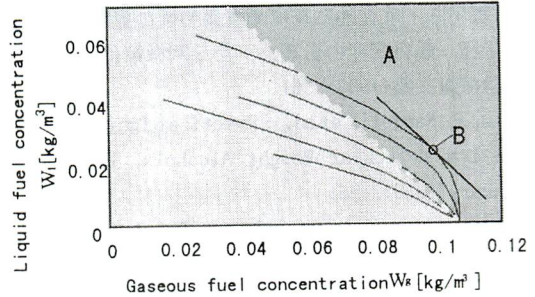


Fig.12 Comparison of effect on ignition between  $W_l$  and  $W_g$

### 7. まとめ

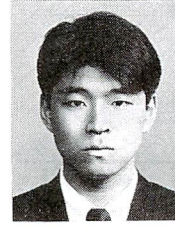
容量火花放電による希薄着火限界付近の燃料噴霧の着火現象において燃料噴霧特性が着火性に及ぼす影響に着目し、火災の発生および成長に大きく寄与すると思われる混合気中の蒸気燃料が着火性に与える影響を調べるため、様々な燃料濃度の予蒸発予混合気中に狭分散噴霧を生成し、点火試験を繰り返した。発生する火炎を目視により観察し、液体燃料濃度、蒸気燃料濃度、粒径を変化させた場合について以下の結論を得た。

- (1) 火花放電により形成される火炎を4種類に分類した。
- (2) メタノール予蒸発予混合気には液体燃料噴霧のような確率的な濃度変動がほとんどなく、明瞭な希薄着火限界が $\phi_g=0.59$ に存在する。
- (3) 予蒸発予混合気と比較して、液体燃料噴霧はかなり希薄な燃料濃度において着火可能となり、燃料濃度に対する着火率変化は緩やかである。
- (4) 燃料噴霧混合気中の蒸気燃料濃度を増加させると着火率は増大し、その増大の仕方は液体燃料濃度により異なる。また粒径による顕著な違いはみられない。
- (5) 本実験の粒径範囲においては、粒径が小さいほど小火炎が伝ばする確率が高く、粒径が大きい場合には、総燃料濃度が希薄着火限界を超えても不着火となる場合がある。
- (6) 燃料噴霧の着火率は蒸気燃料濃度が高く、希薄着火限界に近い場合には、蒸気燃料濃度の変化に、低い場合には、液体燃料濃度の変化に強く影響を受ける。

### 参考文献

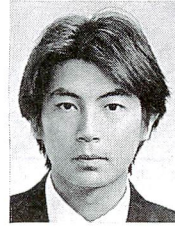
- (1) 郡司ら：着火性に及ぼす噴霧特性の影響(第1報、粒子径、燃料濃度の影響)、微粒化(1995)、47。

- (2) 郡司ら：着火性に及ぼす噴霧特性の影響（第1報、粒子径、燃料密度の影響），第2回微粒化シンポジウム講演論文集(1993)，61。
- (3) D. W. Naegeli, et al. : Practical Ignition Limits for Low Molecular Weight Alcohols, FUEL Vol.68 January(1989), 45.
- (4) A. M. Danis, et al. : Droplet Size and Equivalence Ratio Effects on Spark Ignition of Monodisperse N-Heptane and Methanol Sprays, Combustion and Flame 74(1988), 285.
- (5) D. L. Dietrich, et al. : Spark Ignition of a Bidisperse, n-Decane Fuel Spray, Twenty-Third Symposium (International) on Combustion(1990), 1383.
- (6) 吉田ら：燃料噴霧が混在する可燃混合気の点火特性，日本機械学会論文集，56-528B(1990)，2483。
- (7) 吉田ら：燃料噴霧が混在する可燃混合気の火炎形成過程，日本機械学会論文集，56-528B(1990)，2490。
- (8) 吉田ら：燃料噴霧が混在する可燃混合気中を伝ばする火炎の構造，日本機械学会論文集，57-539B(1991)，2416。
- (9) 水谷ら：気体燃料と噴霧の混合燃焼（第1報，逆円すい火炎バーナによる実験），日本機械学会論文集（第2部），39-325(1973)，2872。
- (10) 水谷ら：気体燃料と噴霧の混合燃焼（第2報，定容燃焼器における実験），日本機械学会論文集（第2部），39-325(1973)，2879。
- (11) 後藤ら：ブンゼンバーナの低NO<sub>x</sub>化の研究（単孔バーナ火炎中のNO<sub>x</sub>濃度分布の測定），第29回燃焼シンポジウム前刷集(1991)，334。
- (12) 中部ら：油滴群中を伝ばする火花点火球形火炎の構造観察，日本機械学会論文集，58-548B(1992)，1337。
- (13) 中部ら：分光可視化画像処理による噴霧火炎の構造観察，日本機械学会論文集，58-546B，635。
- (14) N. Ashgriz, et al. : Combustion Studies in Fuel Rich Idealized Sprays, Physico Chemical Hydrodynamics Vol.8, No.3(1987), 335.
- (15) S. Hayashi, et al. : Limiting Factor of Flame Propagation in Low-volatility Fuel Clouds, Eighteenth Symposium (International) on Combustion, 361.



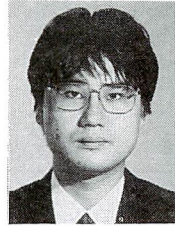
京徳 信夫  
いすゞ自動車

略歴：1996年慶應義塾大学大学院理工学研究科前期博士課程修了，同年 いすゞ自動車に入社。



鈴木 達也  
慶應義塾大学 大学院  
理工学研究科機械工学専攻  
徳岡研究室

略歴：現在，慶應義塾大学大学院理工学研究科前期博士課程に在学。液滴浮揚技術に関する研究に従事。



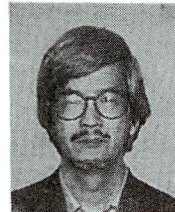
中馬 弘勝  
慶應義塾大学 大学院  
理工学研究科機械工学専攻  
徳岡研究室

略歴：現在 慶應義塾大学大学院理工学研究科前期博士課程に在学。球形微粒子の計測法に関する研究に従事。



劉 京賢  
慶應義塾大学 理工学部  
機械工学科 徳岡研究室

略歴：1991年朝鮮大学理工学部機械科卒業。現在，慶應義塾大学理工学部機械工学科に研究生として在学。主に燃料噴霧の着火性に関する研究に従事。



徳岡 直静  
慶應義塾大学 理工学部  
機械工学科 助教授  
〒223 神奈川県横浜市  
港北区日吉3-14-1  
Tel.045-563-1141 Ext.3196  
Fax.045-563-5943

略歴：1971年慶應義塾大学大学院工学研究科後期博士課程修了，主に燃料供給系や微粒子の挙動，並びに設計・製図の研究・教育に従事。