

氏 名	あら い まさ たか 新 井 雅 隆
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 5 2 年 3 月 2 5 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 精密工学専攻
学 位 論 文 題 目	燃料噴霧の流動と着火および燃焼に関する基礎的研究
指 導 教 官	東北大学教授 永井 伸樹
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 永井 伸樹 東北大学教授 戸部 俊美 東北大学教授 大塚 芳郎 東北大学教授 武山 斌郎

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

液体燃料の種々の燃焼方式の中で噴霧燃焼は多方面に実用されている方式である。この噴霧燃焼に関する研究を、その対象とする火炎の状態で分類すれば次のようになる。

1. 燃焼炉内の噴霧燃焼
2. 燃焼器内の高負荷噴霧燃焼
3. バーナ噴霧火炎
4. 噴霧二相流中の燃焼

これらの噴霧火炎のちがいは、主に燃料噴霧が着火と燃焼を行う場合の流動様式のちがいと考えることができる。さらに、これらの噴霧火炎の一部分に注目すれば、それぞれの火炎はすべて気流と噴霧油滴との間に相対速度を持つ噴霧二相流の燃焼と考えることができる。

本研究では、噴霧火炎の種々の問題点の中で、噴霧火炎の根本的な特徴を示していると考えられる着火面の性質と火炎伝播の機構を研究することにより、噴霧燃焼について統一的な解析を行なう方法を見だし、これからの噴霧燃焼に関する研究の基礎を確立することを主目的とする。

第2章 旋回流れによって保持された噴霧火炎

本研究では、最初に、噴霧火炎の着火面の状態を調べることが必要なため、着火面の観察の容易な準一次元の噴霧二相流中に保持されている火炎を実現させた。図1は、流れの中での火炎保持の原理を示した模式図である。装置から流出する噴霧二相流の外周に沿って保炎用の旋回空気を環状に流出させると、内部の噴霧流をわずかに減速することができる。その結果、火炎の伝播速度と噴霧二相流の流速の等しい所ができ、そこで着火面を保持するのが保炎の原理である。

本章では、この保炎機構による噴霧火炎について、保炎用の旋回空気量を変え、それぞれの噴霧の温度分布から火炎構造を調べ、着火面の観察に適した条件を調査した。

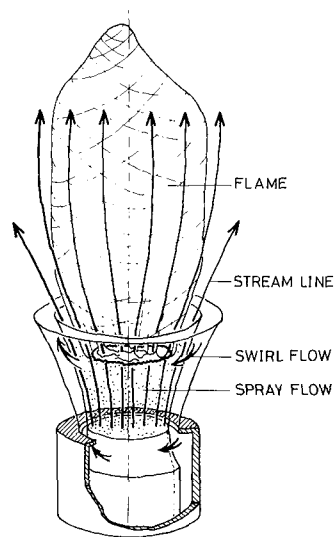


図1 保炎の原理

第3章 噴霧流の燃焼装置

第2章の実験結果に基づき、燃焼装置に改良を加えた後、着火面の状態を中心に噴霧火炎の観察を行なった。

まず、非燃焼時の流れの状態を写真とスモークワイヤ法で調べ、流れに特別の乱れがなく、火炎が準一次元状のものになることを確認した。

次に平均粒径が $30 \sim 110 \mu$ の灯油噴霧について、その燃焼状態を調べ、図2に示すように空燃比 n と平均粒径(S.M.D.)をもとに整理した。図中の各領域について次に説明を行なう。

領域① 油滴のエンベロップ火炎と思われる不連続な火炎や微小油滴の燃焼と見られる青色の針状火炎のほか、これらを包む予混合ガス火炎に近い青色の火炎

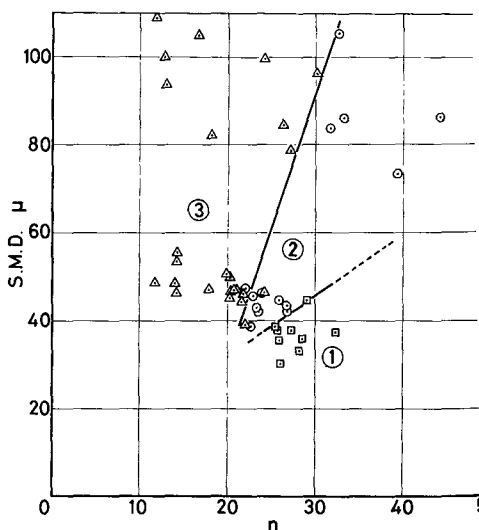


図2 燃焼状態の分類

から成り立つ場合である。

領域② 油滴のエンベロープ火炎の集合体からなる不連続な火炎である。着火面での火炎の不連続な伝播に特徴があるため、高速度写真による火炎の動きを図3に示す。

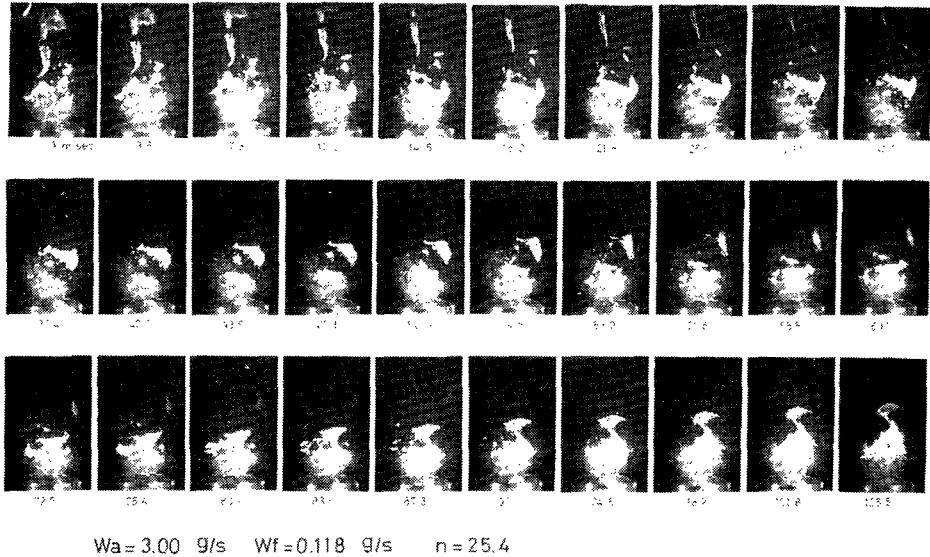


図3 不連続な火炎伝播をする火炎の動き

領域③ 油滴間の距離が小さいため、個々の油滴の火炎は合体し、全体として一つの連続火炎となる場合である。一般に、理論混合比より噴霧濃度の高い場合にあらわれるため拡散火炎に近くなる。

第4章 噴霧のモデル化

噴霧燃焼を、粒径分布をもつ油滴群の集合体の燃焼として調べる場合、ザウテル平均粒径の油滴の燃焼状態だけで現象を説明することは困難である。理論解析を行なう場合には、噴霧の分布関数を用いてすべての粒径の油滴の燃焼を考慮することも原理的には可能であるが、計算が非常に複雑となるため現実的ではない。

本論では、噴霧火炎の着火面の状態を調べた結果、噴霧を大小、2種類の粒径の油滴群の集合体と考えてモデル化する方法が適当であると考えた。

α , β ($=1$), A , B , を実験定数, d_s をザウテル平均粒径とすると、抜山-棚沢の式であらわされる噴霧の分布関数 f_N は

$$f_N = A \left(\frac{d}{d_s}\right)^\alpha \exp \left\{ -B \left(\frac{d}{d_s}\right)^\beta \right\} d \left(\frac{d}{d_s}\right)$$

となる。この式で表わされる噴霧を D_1 と D_2 の粒径の油滴でモデル化すると、 $\beta = 1$ の場合は次のようになる。

$$D_1 = \frac{k\alpha}{\alpha+3} d_s$$

$$D_2 = k d_s$$

ただし

$$k = \frac{\left(\frac{\alpha}{\alpha+3}\right)^{\alpha+2} e^{\alpha+1}}{\left(\frac{\alpha}{\alpha+3}\right)^{\alpha+3} e^{\alpha+1}}$$

また、油滴間距離 L については、最近接油滴間距離の考え方を導入した。油滴数の空間密度 N^* とすれば、 L は

$$L = 0.554 \frac{1}{\sqrt[3]{N^*}}$$

となる。個々の油滴のつくる火炎の大きさを C 、 C .MIESSE 式から求め、油滴間距離と比較したのが図 4 である。図中には、油滴間距離と D_1 と D_2 の粒径の油滴のつくる火炎径が示されて、これらの大小関係から第 3 章の各燃烧状態を説明することができる。

第 5 章 噴霧流の着火のモデル

前章でモデル化した噴霧を用いて着火面の状態を解析する。噴霧中の個々の油滴は、周囲から加熱され蒸発を開始する。しかし、蒸発の開始と同時に着火が行なわれるわけではなく、個々の油滴の着火遅れ時間は油滴によって異なる。本論文では、油滴が沸点に達すると点と燃烧を開始する点を、位置と温度の両面について分離することにより着火面の状態の解析を行なった。その結果、常温で大気圧の初期状態をもつ灯油の噴霧二相流の燃烧では、一部の微小油滴は着火前に蒸発を開始するが、その蒸発量は予混合ガス火炎を可能にするほど多くはなく、着火面では油滴がそれぞれ独立に着火し、着火面は一般に不連続な性格を持つことがわかった。また、噴霧濃度の高低により火炎全体は、連続した合体火炎型か不連続なエンベロープ火炎型になることが明らか

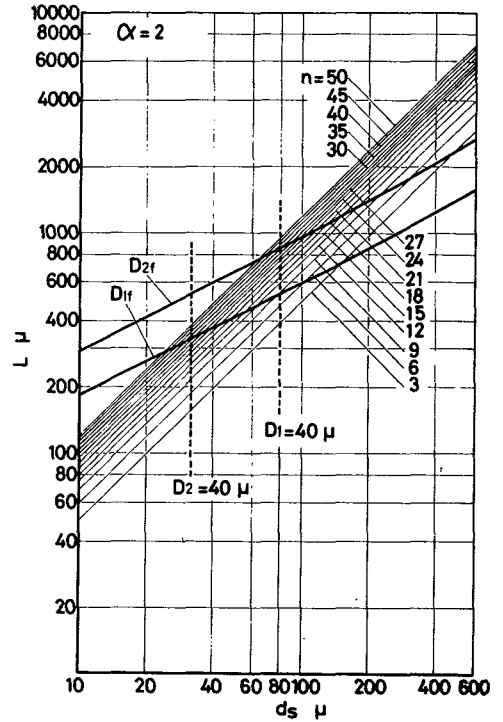


図 4 油滴間距離と火炎径の関係

になった。

第6章 旋回流燃焼器内の流れ特性

燃焼噴霧の連続燃焼装置として通常用いられている旋回流燃焼器内の噴霧燃焼を例にして、実際の噴霧燃焼の着火および保炎の機構を前章までの結果を参考にして調べた。第6章は、実験用旋回流燃焼装置の非燃焼時の特性を調べた章である。図5は使用した燃焼装置で、旋回流発生部と燃焼筒からできている。本装置の特徴は、⑦の回転羽根で流れに任意の旋回度を与えることを可能にしている点である。羽根の回転数を N [rpm]、出口流速 U_e (m/s)、旋回流発生部の出口の内外の半径を R_1 、 R_2 [m] とすれば、スワール数 S は次のようになる。

$$S = \frac{\pi (R_1^2 + R_2^2) N}{60 R_2 U_e}$$

実験は $\phi 106$ 、 $\phi 150$ 、 $\phi 184$ の3種類の燃焼筒について行なった。その結果、スワール数の変化に伴う流れや噴霧の流動について基本的な資料を得ることができた。

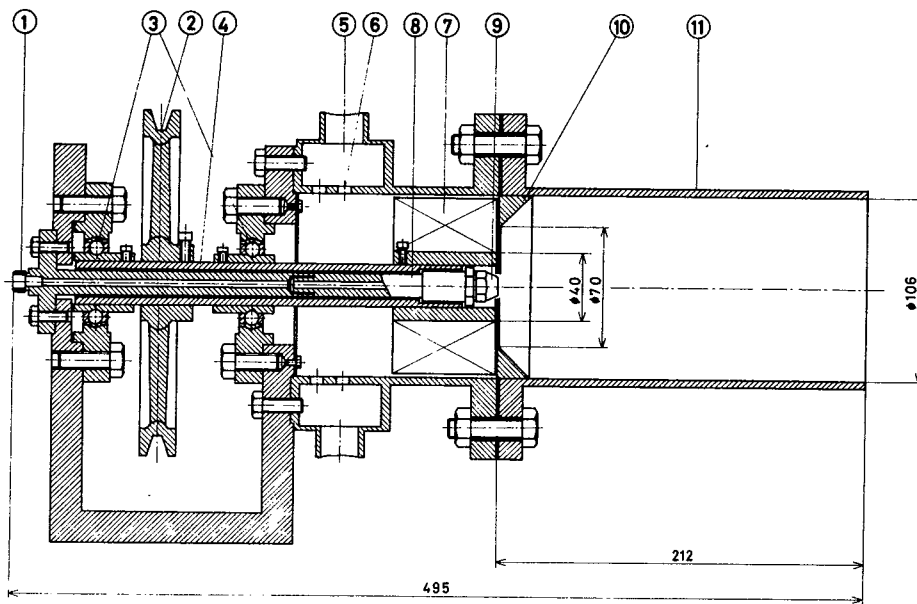


図5 実験用旋回流燃焼装置

第7章 旋回流燃焼器内の燃焼

第6章で示した燃焼装置により、種々の旋回度と噴霧の組合せについて燃焼実験を行なった。その結果、旋回流燃焼器内の着火および保炎の機構は図6に示す3種類の基本型に分けられるこ

とが明らかになった。

- (1) 旋回度の小さい場合 ($S = 0 \sim 0.4$) の状態である。壁面の循環流と空気噴流と噴霧の三者の出合う所で保炎が行われ、油滴間距離が長い場合エンベロープ火炎が噴霧火炎の主体となる場合である。
- (2) 壁面の循環流と空気噴流と噴霧の出合う所および軸上の循環流と空気噴流の出合う所の2種類の着火と保炎の機構がある場合である。中程度の旋回度 ($S = 0.4 \sim 0.6$) の場合の状態である。
- (3) 旋回度の大きい場合 ($S = 0.6 \sim$) で、噴射弁近傍で保炎し、火炎は最初から合体火炎型となる場合である。

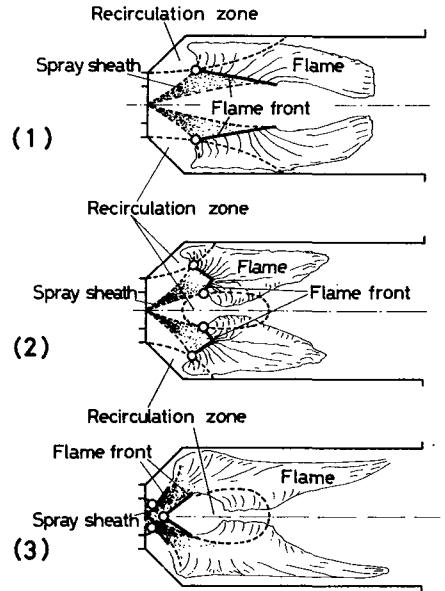


図6 着火および保炎の機構

第8章 総括

この章では、準一次元噴霧火炎と燃焼器内の噴霧火炎の両者について、噴霧の油滴間距離を基礎に検討を加え次の結論を得た。

燃料噴霧の着火前の状態は、噴霧の流動と噴霧と空気の混合過程で定まる。この状態は、噴霧の貫通度と燃焼器内の流れの旋回度から解析することができる。着火面の状態は、燃料の物性値、流れによる熱の供給、噴霧の油滴間距離などから具体的に推定することができる。

審査結果の要旨

近年燃料油滴群の燃焼や噴霧の火炎伝播に関して数多くの研究が行われているが、各種の連続燃焼装置における噴霧燃焼では、噴霧と空気の混合、燃料の蒸発と着火、火炎伝播などが複雑な流動状態のもとで進行するために、このような燃焼過程を解明するには、噴霧の粒度分布と空間分散密度に主眼をおいて伝播機構や燃焼形態を明らかにし、着火および保炎の条件を求める必要がある。

本論文はかかる観点から、噴霧二相流火炎について着火や火炎形態を実験と理論解析によって調べ、それをもとに旋回流燃焼器における噴霧流動と燃焼との関連について統一的な考察を行った結果をまとめたもので、全編8章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では旋回空気流によって噴霧二相流火炎を保持する独自の実験方法について述べ、着火面の観察に適する条件を求めている。

第3章はこの実験方法によって噴霧の燃焼状態を詳細に調べたものである。着火面においては予混合青色火炎を含む火炎伝播、個々の油滴の単一火炎による不連続な伝播、および油滴群の合体火炎による伝播などがみられることを示し、燃焼領域を三つに区分してそれぞれの燃焼の特徴について説明している。

これは噴霧の粒度分布や空間分散密度に対応して基本的な燃焼形態が存在することを明らかにしたもので、本研究の中心をなすものである。

第4章は噴霧のモデル化の理論である。すなわち粒度分布をもつ噴霧を簡略化して、平均粒径とモード粒径を基準とした大小二つの粒径からなる粒群に置き換え、油滴群のランダムな空間分散の考え方を導入して油滴間距離を求め、火炎の大きさと合体について考察している。

第5章は簡易噴霧モデルの燃焼過程を解析したもので、予混合火炎や不連続着火の可能性を指摘し、単一火炎や合体火炎形の燃焼形態が存在し得ることを示している。実験との比較考察は第8章で行っているが、流動を伴う噴霧燃焼を適確に把握するには有用な解析である。

第6章では旋回羽根を回転させて空気の旋回度を任意に変える燃焼器を試作し、空気流動、循環流領域、噴霧の分散などを調べて旋回度の効果について論じている。

第7章はこの燃焼器を用いて気体燃料の予混合燃焼と灯油の噴霧燃焼を比較し、旋回度や混合比による相違を明らかにして着火と保炎機構について考察しているが、着火位置が旋回度や混合比によって異なることや、噴霧二相流による基礎実験と同様の着火と燃焼形態がみられるなどの知見を得ている。

第8章は総括である。

以上要するに本論文は、独自の実験方法や解析によって燃料噴霧の燃焼構造を明らかにし、複雑な流動を伴う燃焼室内の燃焼の解明に有効な手段を見出したもので、燃焼工学に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。