

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 液体燃料噴霧の油滴群燃焼挙動に関する研究  |
| Author(s)    | 赤松, 史光  |
| Citation     |   |
| Issue Date   |   |
| Text Version | ETD   |
| URL          | <a href="https://doi.org/10.11501/3110158">https://doi.org/10.11501/3110158</a> |
| DOI          | 10.11501/3110158  |
| rights       |   |
| Note         |   |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

|            |  |
|------------|--|
| 氏名         | 赤松史光   |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士（工学）   |
| 学位記番号      | 第 1 2 2 2 4 号  |
| 学位授与年月日    | 平成 8 年 1 月 3 1 日                                       |
| 学位授与の要件    | 学位規則第 4 条第 2 項該当                                       |
| 学位論文名      | 液体燃料噴霧の油滴群燃焼挙動に関する研究                                   |
| 論文審査委員     | (主査)<br>教授 水谷 幸夫<br>教授 高城 敏美      教授 香月 正司      教授 辻 裕 |

### 論文内容の要旨

本論文は、光学計測とレーザ応用計測を用い、噴霧火炎の群燃焼構造を実験的に明らかにしたものであり、全 7 章から構成されている。

第 1 章では、噴霧燃焼研究の現状、本研究の位置づけ、ならびに本研究に関連する従来の研究について触れ、本研究の目的や意義を明確にしている。

第 2 章では、レーザドップラー流速計 (LDV)、フェーズドドップラー流速計 (PDA) の基本原理を掘り下げ、対象としている流れ場に最適な光学系の設計についての検討を行っている。

第 3 章では、噴射ノズル近傍での微粒化現象、保炎器下流付近の強い乱れのために生じる巨大コヒーレント渦、ならびに微小 3 次元渦の影響を回避し、噴霧の燃焼機構や火炎構造の情報を抽出する目的で、予混合噴霧火炎の実験を行っている。すなわち、空気流中に均一に浮遊し、気相と噴霧油滴との間にスリップのない“予混合噴霧流”中に、火炎を環状の水素拡散パイロットバーナーで安定化させ、火炎からの OH ラジカル自発光信号、CH ラジカル発光バンドの火炎発光信号、ならびに油滴からのミー散乱光信号の同時時系列データをモニターし、その信号に統計解析とスペクトル解析を施している。その結果、油滴クラスターが蒸発・燃焼しながら飛行するにしたがって、油滴クラスター外周部に存在していた燃焼反応領域がその内部にも出現し始めるとともに、クラスター中のサブクラスターが強い輝炎発光を伴いながら燃焼する階層的な油滴群燃焼が見られることを明らかにしている。

第 4 章では、工業用噴霧バーナーに見られる、噴霧流と周囲空気との境界で不可避免的に発生するコヒーレント渦と微小な 3 次元渦の共存状態が噴霧火炎に与える影響をシミュレートし、実用噴霧火炎の構造を把握するための実験を行っている。すなわち、第 3 章と同じ予混合噴霧流火炎に直角に円柱を挿入し、その後流に形成される循環流と主流との間のせん断層中に生じるコヒーレント渦が噴霧火炎構造や群燃焼形態に及ぼす影響を、第 3 章と同様の測定方法で観察している。その結果、円柱の挿入により油滴クラスターのスケールが減少すること、円柱後流せん断層のコヒーレント渦の影響で、十数 mm 周期の濃度変動に対応するサブクラスターが形成されること、乱流混合や油滴のスリップのためにクラスターのガス交換が活発化し、早い時期からクラスター中心部で燃焼が生じることを明らかにしている。

第5章では、火炎中に存在する個々の油滴クラスターの群燃焼パラメータを推算するために、第3、4章で取り扱ったOH、CH、油滴ミ-散乱光の3信号に、PDAによる油滴の粒径と速度の信号を追加し、計5信号の同時時系列データの測定を行っている。また、油滴クラスター発生メカニズムを明らかにするために、測定領域を火炎下方（上流）にまで広げて計測を行っている。その結果、非燃焼時の予混合噴霧流には明確な境界を持った油滴クラスターは存在していないが、燃焼時には選択的な火炎伝ばにより噴霧が分断されて、油滴クラスターが形成されること、実験データから推算される油滴クラスターの群燃焼数をChiuらの理論解析に当てはめると、観察される平均的な燃焼状態と合致する結果が得られること、また、個々のクラスターの燃焼状態も、ほぼそのクラスターの群燃焼数に対応していることを明らかにしている。

第6章では、微粒化過程の影響を極力排除した上で、噴霧流中での火炎の伝ば機構や油滴の群燃焼挙動の詳細な観察を行うため、超音波噴霧器から自由落下しながら周囲空気と緩慢に混合する燃料噴霧を一点で火花点火し、火炎核から成長する球形噴霧火炎の観察を行っている。その結果、油滴クラスター間に存在する燃焼しやすい燃料蒸気成分や微小油滴領域中を不輝炎が選択的に伝ばすること、また、油滴クラスターは未燃のまま不輝炎領域を通過し、その後で群燃焼することにより、拡散火炎片がランダムに出現することを明らかにしている。

第7章においては、本研究で得られた成果の総括を行っている。

## 論文審査の結果の要旨

噴霧燃焼においては燃料油滴がグループを形成して群燃焼を行うことは仮説として広く受け入れられているが、その実験的証拠を世界でも初めて定量的に提示することに成功したのが本論文である。しかも、この群燃焼が火炎全体として生じるのではなく、多くのサブクラスターに分かれて、階層的な群燃焼構造をとることを見だし、世界的に高い評価を受けている。

本論文において得られた主な成果は以下の通りである。

- (1) 粒径分布を持った噴霧流中では、燃焼しやすい燃料蒸気成分や微小油滴領域中を、不輝炎が選択的に伝ばする。非燃焼時の予混合噴霧流には、明確な境界を持った油滴クラスターは存在していないが、火炎中においては、この選択的な火炎伝ばにより噴霧が分断されて、油滴クラスターが形成されることを示し、噴霧火炎中での油滴クラスターの形成が、選択的な火炎伝ばに依存することを明らかにしている。
- (2) 油滴クラスターが蒸発・燃焼しながら飛行するにしたがって、油滴クラスター外周部に存在していた燃焼反応領域がその内部にも出現し始めるとともに、サブクラスターが強い輝炎発光を伴いながら階層的な油滴群燃焼を行うことを示し、噴霧火炎の群燃焼挙動の実験的証拠を提示している。
- (3) 火炎中に円柱を挿入して、乱流混合や油滴のスリップを強制的に引き起こすことにより、油滴クラスターのスケールが顕著に減少すること、また、早い時期からクラスター中心部で燃焼が生じることを示し、クラスターのガス交換を活発化させる乱流混合や油滴のスリップが油滴クラスターの群燃焼形態に大きな影響を及ぼすことを明らかにしている。
- (4) 油滴ミ-散乱光とPDAによる油滴の速度と粒径の同時時系列データを用いて実験的に群燃焼数を算出し、その結果がChiuらの仮説とほぼ合致することを示して、噴霧火炎の群燃焼仮説の定量的な実験的証拠を提示している。

以上のように本論文は、液体燃料噴霧の油滴群燃焼挙動に関わる多くの課題に対して、新たな計測技術やデータ解析法を適用することにより、極めて有用な知見を得ており、燃焼工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値のあるものと認める。