

論文審査の結果の要旨

氏名：菅沼祐介

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：燃料噴霧を単純化した液滴列を用いた火炎燃え広がりに関する実験的研究

審査委員：（主査） 教授 野村 浩司

（副査） 教授 松島 均

教授 山崎 博司

液体燃料を霧化して燃焼させる噴霧燃焼は、ボイラや炉をはじめ、ディーゼル機関や液体ロケット機関、ガスタービンなどの燃焼器に広く用いられている燃焼方式である。一方で、その燃焼機構は非常に複雑であり、燃料微粒子、燃料蒸気および空気からなる極めて不均一な系で起こる現象である。噴霧燃焼を支配する重要な因子として、液滴直径や燃料組成、温度、ガス組成、圧力、液滴と周囲気体の相対運動などが挙げられる。また、蒸発・拡散・混合、それによって生じた混合気の燃焼が同時に進行し、かつ相互に影響を及ぼしあうため、燃焼現象を直接解析することは非常に困難であり、現在においても燃焼メカニズムの完全な解明には至っていない。したがって、従来それぞれの燃焼機器について個別に研究されることが多く、噴霧燃焼の一般的特性が把握されていないのが現状である。噴霧燃焼の群燃焼メカニズムは実験、数値解析、仮説の提案などによって検討が行われているが、未だ詳細な把握には至っていない。そのため、実機の数値解析において噴霧液滴は単純化あるいはある仮説に基づき計算モデルを構築している。より高精度で計算負荷の小さな計算モデルを構築するためには、燃料液滴の群燃焼発現メカニズムを明らかにする必要がある。群燃焼メカニズムについて種々のアプローチで燃焼研究が行われており、直線状に配置した燃料液滴列モデルを用いた研究もその一つである。本論文では燃料噴霧を単純化した燃料液滴列を用いて火炎燃え広がり実験を実施した。実験では液滴間隔、液滴直径、周囲の燃料蒸気 - 空気予混合気の当量比、雰囲気圧力を変えた。実験パラメータが火炎の燃え広がり挙動、火炎の燃え広がり速度および火炎直径に及ぼす影響について調べた。また、液滴間の燃え広がり要する時間（燃え広がり誘導時間）について考察し、現象を支配する特性時間を明らかにした。また、実験結果を基にして実験モデル式の構築を目的として実施された。

本論文は全8章から構成されている。

第1章では噴霧燃焼に着目し本研究を行うにあたっての背景、噴霧燃焼における液滴燃焼の重要性と課題、および過去に行われた研究について述べ、本論文の位置付けについて記載されている。

第2章では、第3章から第6章で用いた液滴列燃焼実験の実験装置、微小重力実験を実施するための落下塔の詳細について記載されている。

第3章では、液滴列の周囲を液滴と同一の燃料の蒸気で満たし燃え広がり実験について示している。ここでは通常重力実験の結果を示している。通常重力環境では、燃え広がりにおいて自然対流が誘起され、実機と同様の現象を観察することはできない。そこで、予混合火炎伝播と液滴の干渉について考察を行った。揮発性の異なる2種類の燃料を用いることで、予混合火炎と液滴の干渉の度合いを考察している。実験により、他研究者が実施した部分予蒸発噴霧の結果と定性的に同一の結果が得られており、噴霧と液滴列燃焼実験をつなげる重要な知見について考察されている。

第4章では、第3章と同じく液滴列の周囲を液滴と同一の燃料の蒸気で満たした火炎燃え広がり実験を微小重力環境で実施した結果を示している。燃料蒸気 - 空気予混合気が液滴列に沿った火炎燃え広がり及び及ぼす影響を明らかにしている。火炎直径および液滴直径履歴から熱影響範囲について考察しており、数値解析と合わせて気体当量比の影響について述べられている。また、実験結果から、燃え広がりを支配する特性時間について述べられている。

第 5 章では、雰囲気圧力を変えて液滴列の火炎燃え広がり実験を行った結果を記述している。雰囲気圧力が燃え広がり速度、燃え広がりモードおよび火炎直径に及ぼす影響について考察されている。また、実験結果から燃え広がりを支配する特性時間について述べられている。燃え広がり速度の圧力依存性が燃え広がりモードにより大きく異なることを明らかにしている。

第 6 章では、初期液滴直径を変えて液滴列の火炎燃え広がり実験を行った結果を示している。燃え広がり誘導時間が約 20 ms を下回る、液滴間隔が狭い条件や初期液滴直径が小さい条件では、相似則が成立しないことを明らかにした。相似則が成立しない要因として、新たな特性時間として燃料蒸気の拡散時間を用いて説明した。これにより、燃え広がり速度の初期液滴直径依存性を説明している。

第 7 章では、第 3 章～第 6 章の総合考察を示している。第 4 章の実験結果から群燃焼について考察している。これまで、液滴列の実験結果を噴霧に拡張して議論した論文は数少なく、本論文により新たな知見が得られた。また、実験結果を基にモデル式を構築している。無次元液滴間隔と圧力依存性の関係から実験モデル式を構築し、大気圧の燃え広がり速度を用いて、加圧雰囲気の燃え広がり速度を表した。この実験式を発展させて、ベースとなる実験結果を用いず、燃え広がり速度を算出する実験モデル式を構築している。雰囲気圧力依存性、初期液滴直径依存性については良好な一致を示す結果が得られている。また、実験モデル式から、各実験条件における燃え広がり誘導時間に示す各特性時間の支配割合について、定量的に明らかにしている。

第 8 章では、本論文によって得られた知見についてまとめ、本研究によって新たに検討が必要となった今後の課題について記載している。

この成果は、生産工学、特に燃焼工学に寄与するものと評価できる。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成 年 月 日