

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 山下清孝

修士（工学）山下清孝提出の論文は、「A Study of Droplet Combustion Behavior in Electric Fields」（電界中における液滴燃焼挙動に関する研究）と題し6章から成っている。

電界中において火炎内に存在する帯電粒子が燃焼特性に及ぼす影響に関する研究は過去にも数多く行われてきた。しかしながら、その多くは気体燃料の燃焼に限定しているものであり、液体燃料の燃焼については、実験的な検討が行われているのみであった。液滴燃焼は、実用燃焼機器において多用されている噴霧燃焼の簡略モデルと考えられ、その燃焼特性の解明は学術のみならず実用の側面からも重大な意義をもつといえる。一方、電界中における液滴燃焼過程は、物理的、化学的現象のみならず電気力が複雑に関係する混相流問題であり、これが数値計算による解析を困難なものとしている主たる要因である。また実験においても、自然対流除去のための微小重力環境の適用、電界発生のための燃焼場への高電圧印加という条件のために、各種計測手法の適用に大幅な制約が課せられ、得られる計測結果が限られたものになっていることが現象の理解を困難にする一因となってきた。

以上のような背景から、本論文では、電界中における液滴燃焼挙動を実験と数値計算により解明することを目的としている。まず、過去の研究に関する概観を踏まえ、単一液滴の基礎的な燃焼特性である火炎変形および燃焼速度定数を計測するため、重力の影響が排除できる微小重力環境において実験を行っている。また、電界による液滴燃焼への影響因子として、イオン風および帯電すす粒子運動に着目し、電界中における単一液滴の燃焼挙動を詳細に把握するための計算手法を提案している。その際、実用的な計算時間において結果が得られるようにモデルの簡略化を行っている。さらに実験と計算結果の比較により計算手法の妥当性を検証した上で、液滴燃焼特性と各影響因子との関係について総合的に考察、検証を行っている。

第1章は序論であり、電界中における液滴燃焼挙動に関する研究の意義を概観し、従来の関連研究の成果を詳しく述べ、明確にされていない事項を明らかにした上で、本論文の目的および研究方針を示している。

第2章では、実験装置および方法について述べている。燃料供給系・点火系・観測系について記述するとともに、微小重力実験の手順および条件について説明を加えている。

第 3 章では、数値計算および方法について述べている。中核部分となる気相流計算の概要について記述するとともに、数値計算の手順および条件について説明を加えている。また、電界中における多孔質円筒バーナー拡散火炎について数値計算を行い、過去に行われた実験結果との比較から計算モデルの妥当性を検証している。

第 4 章では、エタノール燃料を用いた実験および計算結果について述べている。エタノール火炎中ではすす粒子がほとんど生成されないため、電界による液滴燃焼への影響因子はイオン風のみと考えることが可能である。まず、液滴燃料の蒸発を考慮した気液二相流計算の概要が説明されている。また、印可電圧を変化させた場合の燃焼特性に関する計算結果が述べられ、実験結果との比較を行うことにより液滴燃焼現象に及ぼすイオン風の影響を明らかにしている。さらに、イオン風的主要因素となる電界強度および電荷密度について調べられ、燃焼反応により生成された帯電粒子と電界との相互作用について考察が加えられている。

第 5 章では、正オクタン燃料を用いた実験および計算結果について述べている。正オクタン火炎中にはすす粒子が多く存在するため、イオン風のみならず帯電すす粒子の影響を考慮する必要がある。このため、すす粒子挙動を考慮した気液固二相流計算を行うために気液二相流計算に追加されたすす生成モデルおよびすす粒子追跡モデルが説明されている。また数値計算の結果、電界による帯電すす粒子の運動を定性的に模擬することが可能であることが示されたが、それが燃焼特性に及ぼす影響は過小に見積もられていることが明らかにされている。このような実験結果との相違が生じた要因を明らかにするため、帯電すす粒子運動に関係するすす粒子の帯電量および空気抵抗の影響が調べられている。さらに、本計算で使用したすす生成モデルおよびすす粒子追跡モデルが計算結果に及ぼす影響が考察され、その結果に基づいて本研究で用いた数値計算に必要と考えられる改善点についていくつかの提案がなされている。

第 6 章は結論であり、本論文において得られた結果を要約している。

以上要するに、本論文は、液滴燃焼挙動に及ぼす電界の影響を実験および数値計算を用いて調べることにより、イオン風および帯電すす粒子挙動を詳細に明らかにするとともに、電界中における液滴燃焼機構の基礎的解明を行ったものであり、燃焼学および航空宇宙推進工学上貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。