

A Study on Disintegration of Droplets in Diesel Fuel Spray by Mirco-Probe L2F

マイクロプローブL2Fによるディーゼル燃料噴霧の液滴分裂に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科

アマダ オルウォル オライウォラ

ガソリン機関に比べて熱効率が高いため省エネルギーであり二酸化炭素排出率が低いディーゼル機関において、さらなる熱効率の向上と有害排気物質の低減が求められている。ディーゼル機関においては、微細な噴孔から液体燃料が高圧で噴射されることによって燃料噴霧が形成され、燃料噴霧と空気が混合しながら燃焼する非予混合燃焼過程が主たるエネルギー変換過程である。従って、熱効率向上と有害排気物質低減の達成のためには燃焼の適切な制御が必要であり、燃焼を支配するディーゼル燃料噴霧の特性を把握すること、特に噴霧特性を決定する噴孔近傍の液滴分裂過程の解明が求められている。また、燃料噴霧挙動の数値シミュレーションを行うためには液滴分裂過程の理解に基づく液滴分裂モデルの構築が必要である。しかしながら、高数密度で液滴が存在する燃料噴霧の内部構造はこれまでその測定が困難であったためほとんど明らかにされていない。

本研究では、まず、分裂過程にある液滴挙動の把握を目的として高い光学的 SN 比かつ高いデータレートの非接触計測システム、すなわち、高数密度で液滴が存在する場合の個々の液滴の速度およびサイズを計測できるレーザー2焦点流速計 (Laser 2-Focus Velocimeter; L2F) システムを開発している。また、計測データの解析手法として噴霧内の液滴の質量流量および数密度を評価する独自の手法を提案している。液滴の変形ならびに分裂の形態が、液滴に働く慣性力と表面張力の比であるウエーバー数に依存することはこれまでの多数の研究報告によって知られている。本研究では、液滴周りの空気流動のトレーサーとして噴霧にサブミクロンのオイルミストを供給し、噴霧と同時に計測することにより噴霧液滴と空気の相対速度ならびにウエーバー数を評価する手法を提案している。さらに、これらの結果を液滴分裂モデルである KH-RT (Kelvin-Helmholtz / Rayleigh-Taylor) モデルによる数値シミュレーションの結果と比較し、非定常高速高数密度噴霧の分裂過程を明らかにするとともに、液滴分裂とウエーバー数との関連を明らかにしている。

第1章では、本論文の研究の背景、研究の動向、解決されるべき問題点および本論文の目的と構成を述べている。

第2章では、ディーゼル燃料噴霧の計測に用いるレーザー2焦点流速計 (L2F) システムについて述べている。まず、独自に開発された光学系および信号処理系の構成について述べ、その計測精度に言及している。また、本計測システムによって高い光学的 SN 比および 15MHz に達するデータレートを実現できることを示した。L2F によって得られるデータは個々の液滴の速度およびサイズであり、個々の液滴の出現時刻も同時に記録されている。これらの計測データから液滴の数密度および質量流量を評価する手法について述べた。

第3章では、噴霧液滴の分裂および合体を非定常3次元乱流の条件下で理論的に解析する手法について述べている。具体的には、内燃機関の分野で多数の使用実績を持つ数値シミュレーションコードの一つである KIVA-3V における支配方程式、ならびに液滴分裂モデルとして最も一般的に使用されている KH-RT (Kelvin Helmholtz- Relay Taylor) モデルについて述べた。空気流動はオイラー法によって解析が行われ、液滴挙動はラグランジュ法によって解析される。噴孔部における液滴サイズの初期条件を、噴孔近傍において L2F により測定された液滴サイズ確率密度を基に決定することによって解析精度の向上を図っていることが本論文の特徴である。

第4章では、まず、噴射圧および噴射期間を変化することによって噴射率を変化させた場合の噴霧液滴の速度とサイズの空間分布およびその時間変化について L2F による測定結果を示した。次に、L2F による測定結果を数値シミュレーション結果と比較することによって数値シミュレーションの妥当性についても確認を行っている。さらに、L2F の測定データを基に液滴質量流量の空間分布を明らかにしている。

本章で明らかにされた主な結果は以下の通りである。

(1) 噴射率が高い場合には噴孔近傍における液滴の合体が顕著であり、液滴サイズは下流に向かって一旦増加し、その後、液滴分裂によって減少することを明らかにした。

(2) 液滴分裂が完了する噴孔からの距離は噴射率に依存することを明らかにした。

(3) L2F の測定データに基づく液滴質量流量の積分値が重量法により計測された噴射量とほぼ一致することが明らかにされた。また、このことから本 L2F がそのマイクロスケールの測定体積に現れるほぼ全ての液滴を検出かつ評価しているものと判断され、液滴数密度についての評価も妥当であると判断された。

(4) 液滴分裂は液滴数密度が低く液滴サイズが大きい噴孔近傍で活発であり、液滴分裂の進行とともに液滴数密度は増加する。

第5章では、液滴と空気との相対速度を代表速度とする液滴ウエーバー数について L2F による測定結果と数値シミュレーションの結果に良好な対応があることを明らかにしている。また、噴孔近傍では相対速度の計測が困難であることから、相対速度ではなく液滴速度を代表速度とするウエーバー数と液滴分裂との関係を考察している。

本章で示された主な結果は以下の通りである。

(5) 噴霧の周期空気にサブミクロンのオイルミストを供給し、測定される液滴サイズから空気速度と噴霧液滴速度を識別したところ、空気速度は液滴速度のほぼ半分のオーダーであることがわかった。また、相対速度から評価されたウエーバー数の空間分布は数値シミュレーションによる結果とほぼ同様であることを明らかにした。

(6) 液滴のサイズは、液滴速度を代表速度とする液滴ウエーバー数と相関がある。

(7) 液滴の飛行距離に対するサイズの減少割合は液滴分裂の程度を示しており、液滴速度を代表速度とする液滴ウエーバー数と相関がある。

(8) 液滴の飛行距離に対するサイズの減少割合は液滴数密度と負の相関がある。

第6章は、本論文全体に亘る総括である。