

## 予混合圧縮着火機関におけるエタノール混合軽油の燃焼特性に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科  
山本 昌平

単体の原動機として最高の熱効率を有するディーゼル機関において、地球温暖化ならびに自然環境保全の観点から、熱効率のさらなる向上ならびに有害排気物質である窒素酸化物(Nitrogen Oxides :  $\text{NO}_x$ )と粒子状物質(Particulate Matter : PM)の低減が求められている。

高い熱効率を維持しながら低排出ガスを実現する燃焼法として、予混合圧縮着火(Premixed Compression Ignition : PCI) 燃焼が有望視されているが、燃焼の制御が容易でなく、排気物質生成のメカニズムの詳細は明らかにされていない。PCI 燃焼を制御するには燃焼に影響を及ぼす多くの要素について調査する必要がある、膨大な時間を要する。開発設計期間を飛躍的に短縮するには燃焼数値解析の予測精度の向上が不可欠である。また、高精度な燃焼数値解析を実現することにより、PCI 燃焼における排気物質の生成メカニズムの把握ならびにその抑制方法の開発が可能となる。

燃料と空気の混合気濃度分布は燃焼排気特性に影響をおよぼし、噴孔近くにおける液滴の速度とサイズの空間分布が混合気濃度分布を決定する。このため、燃焼数値解析の精度向上には液滴の速度とサイズの情報が必要である。しかし、噴孔近くでは液滴が高速かつ高数密度で存在するため計測が困難であった。噴霧数値解析における噴霧分裂モデル定数を、液滴の速度とサイズでなく噴霧先端到達距離の計測結果と解析結果が一致するように決定しているのが現状である。液滴速度とサイズの空間分布を数値解析で再現するには速度とサイズの計測結果と解析結果が一致するように分裂モデル定数を決定すべきであると考えられる。

本研究では、噴霧計測に特化したレーザー2焦点流速計(Laser 2 - focus velocimeter : L2F)を用いた。L2Fによって得られた噴孔近くにおける液滴速度とサイズの計測結果を最もよく再現するモデル定数を決定しPCI 燃焼解析に用いた。PCI 燃焼試験では、予混合化を促進する因子として低セタン価燃料であるエタノールを軽油と混合した混合油を用いた。燃焼・排気特性に及ぼすエタノール混合割合と排気再循環(Exhaust Gas Recirculation : EGR)の影響を明らかにするとともに、エタノール混合割合を適切に選択することによりEGR量の増加に伴いPM排出量が減少することを見出した。PCI 燃焼解析を行い、燃焼試験結果を再現できることを確認した。さらに、計算格子内に存在する

燃料蒸気量と酸素量から算出した局所当量比 $\phi$ と格子内温度  $T$  から、PM と  $\text{NO}_x$  の生成状況を推定する $\phi$ - $T$  マップを作成し、エタノールを用いた PCI 燃焼における PM の低減機構を明らかにした。

第 1 章では、本論文の研究の背景、本論文の目的と構成を述べた。

第 2 章では、まず本研究で使用した供試機関、供試燃油の性状、燃焼解析装置、排気ガス解析装置について述べた。次いで、燃料噴霧液滴の計測に用いた L2F と噴射装置について述べた。

第 3 章では、非定常 3 次元数値解析コード 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 - Raylei Taylor) モデル、液滴の蒸発と燃焼に関するモデルについて述べた。そして、エタノールと軽油の混合燃料を用いて燃焼計算を行うために作成したモデルについて述べた。

第 4 章では、エタノールの混合割合、EGR 量および機関負荷を変化した場合の燃焼試験結果を示した。次に予混合化促進効果に対するエタノールの影響を示した。また、エタノール混合割合 50%の燃料を用いた場合、EGR による予混合化促進によって PM が低減し、低 PM・低  $\text{NO}_x$  燃焼が可能であることを明らかにした。

第 5 章では、L2F を用いた燃料噴霧液滴の速度とサイズの計測結果を示した。次に、噴霧計測結果から数値解析における噴孔部での液滴初期サイズ分布として、ザウタ平均径が噴孔直径の 40%と設定し自由度 7 の $\chi^2$  分布を与えるのが適当であることを示した。また、分裂モデル定数を適切に選択することにより計測結果と解析結果がよく一致することを示した。

第 6 章では、第 5 章で決定した分裂モデル定数を用いて PCI 燃焼の数値解析を行った結果を示した。 $\phi$ - $T$  マップを用いた解析結果から得られた知見は次の通りである。(1) エタノール混合割合 30%の燃料を用いた場合に EGR を行うと着火遅れが増加することで予混合化が促進し、燃焼した燃料の割合が全体の 60%に達するまで PM は生成しない。しかし、燃焼が終わりに近づくと多量の PM が生成される。これは噴射終了直前に噴射された燃料の予混合化が不十分であり燃焼終盤で局所当量比 $\phi$ が高くなったためと判断される。(2) EtOH50 を用いた場合、EGR を行っても PM の排出量が少ない。これは EGR によって着火遅れが増加することで、噴射終了直前に噴射された燃料も予混合化され、燃焼終盤でも低い当量比を維持し、PM が生成されにくいためであると判断される。

第 7 章は、本論文全体にわたる総括である。