J42 L2F による噴霧測定に基づくディーゼル燃焼の数値解析

Numerical analysis of diesel combustion based on the spray model verified by L2F

学 アミダ オルウォレ(長崎大院)
正 植木 弘信 (長崎大)
正 坂口 大作 (長崎大)

○学 中川 将之 (長崎大院)
正 石田 正弘 (長崎大)

Oluwole AMIDA, Masayuki NAKAGAWA, Hironobu UEKI, Masahiro ISHIDA, Daisaku SAKAGUCHI
Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-Machi, Nagasaki 852-8521

Key Words: Diesel Engine, Droplet Breakup, L2F, Numerical Simulation

1. まえがき

ディーゼル機関の性能向上ならびに排気特性改善には燃焼現象の把握とともに数値解析が有効であり、燃焼室のガス流動、燃料噴霧液滴の分裂・合体・蒸発および燃焼を3次元・非定常・乱流の条件で解析する数値解析コードKIVA-3⁽¹⁾、⁽²⁾は標準的ツールの一つである。ディーゼル機関において燃料噴霧の特性は燃焼を支配する最も重要なパラメータであり、燃焼解析においては噴霧モデルの構築ならびにその検証が不可欠である。

著者らは2つの焦点の間を液滴が飛行する時間を計測して速度を求めるレーザ2焦点流速計(L2F; Laser 2-Focus velocimeter)に散乱時間計測機能を付加することによって噴霧液滴の速度とサイズの同時計測を行った⁽³⁾。本研究では噴霧分裂モデルとしてTABモデルにRTモデルを組み合わせたモデル、およびETABモデルを使用し、噴霧分裂モデルが噴霧特性および燃焼解析に及ぼす影響を調査した。

2. 実験方法および計測方法

液滴数密度が高い噴霧コア部のレーザ流速計を用いた計測では多重散乱を避けることが重要であり、測定体積をできるだけ縮小することが望まれる。本研究のL2Fの特徴は焦点が回折限界近傍まで集光されていることであり、焦点直径 d は約 $2\mu\text{m}$ である。焦点間距離 S は $20\mu\text{m}$ であり、2焦点間距離を通常のL2Fに比べて約 $1/20$ と短くすることによって測定体積をマイクロスケールとした。

液滴が2つの焦点間を飛行する時間 t_1 、上流焦点で液滴が焦点を通過する際の散乱時間 t_2 を測定する。速度は従来のL2Fと同様に2焦点間距離 S を飛行時間 t_1 で割ることにより求める。すなわち、

$$u = \frac{S}{t_1} \quad (1)$$

また、液滴サイズ dp は、2焦点間距離 s と液滴サイズ dp と焦点サイズ d の比が飛行時間 t_1 と散乱時間 t_2 の比に対応することから、

$$dp = u \cdot t_2 - d \quad (2)$$

より求める。

L2Fによる噴霧計測では、コモンレール内により供給される燃料をレール圧 40MPa において噴孔径 0.113mm の5噴孔ノズルから大気中に間欠噴射した。噴孔出口からの距離 z を噴霧軸方向にとり、計測は $z=20\text{mm}$ の噴霧軸に垂直な断面(x, y)で行った。なお各計測点でそれぞれ $10,000$ 点のL2Fデータを取得した。

KIVA-3の燃焼解析に及ぼす噴霧モデルの影響を調べるために、図1に示す単気筒ディーゼル機関(ヤンマーディーゼル製NFD-170(E))で計測された燃焼時間履歴と解析結果を比較した。

Fig.1 Combustion test system

(a) Spray Simulation

(b) Combustion Simulation

Fig.2 Mesh

3. 解析方法

KIVA-3にTABモデルとRTモデルを組み合わせた場合⁽²⁾と、ETABモデル⁽⁴⁾を組み込んだ場合について噴霧液滴分裂過程および燃焼の数値解析を行った。噴霧解析および燃焼解析に用いた解析格子を図2(a)および(b)に示す。周(θ)方向、半径(r)方向、および噴射軸(z)方向にそれぞれ 30° 、 60° 、および 40° をとり、総格子数を $72,000$ とした。燃料としてドデカン($\text{C}_{12}\text{H}_{26}$)を使用し、初期噴霧角を 16° 、総パーセル数を 4000 とした。本研究では噴孔出口下流 1.5mm におけるL2F計測の結果⁽⁵⁾から噴孔出口における粒径分布を χ^2 分布で与え、初期粒径のザウタ平均がノズル噴孔径の $1/2$ となるように設定し、噴射速度をレール圧から求まるベルヌーイ速度とした。

4. 結果および考察

図3および図4は噴孔からの距離 $z=20\text{mm}$ 、噴霧軸上($x=0$)での液滴サイズおよび液滴速度の確率密度分布を示す。丸印はL2Fによる測定結果を示し、破線はETABモデルを、実線はTAB&RTモデルによる数値解析結果を示している。ETAB

モデルではサイズが測定結果に比べて過大に評価されているのに対し、TAB&RT モデルの数値解析結果は測定結果に近いサイズ分布を示している。速度分布では両モデルともに測定結果に近い分布を示した。

図5(a)および(b)はそれぞれ液滴サイズおよび液滴速度の空間分布を示す。液滴サイズは TAB&RT モデルによる数値解析結果が測定結果の空間分布に近いのに対して、ETAB モデルではサイズが計測範囲全域で過大評価されていることがわかる。液滴速度では両モデルともに噴霧中心近傍で過小評価されているが、測定結果と同様に噴霧中心からの距離 x が大きくなると液滴速度が減少するという傾向が確認でき、この傾向は TAB&RT モデルで顕著に現れている。

図9は KIVA-3 によるディーゼル機関燃焼解析で得られた熱発生率と実験結果の比較である。TAB&RT および ETAB の着火時期は実験とほぼ同時期となっており、液滴サイズが着火時期に及ぼす影響は大きくないものと考えられる。ETAB モデルと比較し TAB&RT モデルによる熱発生率は実験結果に近いことがわかる。最大熱発生率について ETAB モデルが TAB&RT モデルに比べて大きくなっており、液滴サイズが過大に評価されたことによる初期噴射率増大が要因と考えられる。これらのことは、ノズル噴孔径変化がディーゼル機関燃焼特性に及ぼす影響を調査した既報⁽⁶⁾と整合する。

5. まとめ

TAB モデルに RT モデルを組み合わせたモデル、および ETAB モデルの 2 通りの噴霧分裂モデルを KIVA-3 に組み込み噴霧解析および燃焼解析を行った。この結果を実験結果と比較し以下のことを明らかにした。

- (1)噴孔出口下流 20mm における液滴サイズおよび液滴速度は、ETAB モデルの結果と比較して TAB&RT モデルによる数値解析結果が L2F による測定結果に近い。
- (2)ETAB モデルに比べ TAB&RT モデルによる燃焼解析結果が実験結果に近い。

6. 文献

1. A.A.Amsden, Los Alamos Report, LA-12503-MS(1993)
2. A.A.Amsden, Los Alamos National Laboratory report, LA-13313-MS(1997)
3. Ueki, H., Ishida, M., Sakaguchi, D., SAE Paper No.2005-01-1238, pp.1-11(2005)
4. Tanner, F. X., SAE Trans.: Journal of Engines, 106-3, pp.127-140(1998)
5. Ueki et al., 第 18 回内燃機関シンポジウム講演論文集, No.20056071, pp.1-6(2005)
6. M. Ishida et al., the 6th International Symposium on Marine Engineering, ISME2000-TS-8, pp.43-50(2000)

Fig.3 Droplet size distribution; $(x,z)=(0,20)$

Fig.4 Droplet velocity distribution; $(x,z)=(0,20)$

(a) arithmetic mean size

(b) arithmetic mean velocity

Fig. 5 Spatial distribution of arithmetic mean size and velocity

Fig. 6 Rate of heat release