J22 燃料噴霧の測定データに基づくディーゼル機関燃焼解析

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 築瀬 祥隆 (長崎大院)
正 石田 正弘 (長崎大)

Oluwale AMIDA, Yoshitaka YANASE, 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。燃料噴霧特性はディーゼル機関の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り噴霧液滴の速度とサイズの同時計測を行った⁽³⁾。この計測データを基に本研究では噴霧液滴分裂モデルとしてKH-RTモデルを使用し噴霧分裂パラメータが噴霧解析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

2.1 L2Fによる噴霧計測

噴霧液滴の速度およびサイズの計測には2焦点間隔が20μm、焦点直径が約2μmのL2Fを用いた。レーザ圧を40MPaに設定したコモンレールシステムを用いて軽油を大気中に間欠噴射した。燃料噴射ノズルの噴孔径は0.113mmである。L2Fによる計測は、噴孔出口からの距離 z を噴霧軸方向にとり、 $z=10, 15, 20, 25, 30$ mmの5点で行い、各計測点でそれぞれ30,000点のデータを取得した。

2.2 ディーゼル機関燃焼試験

ボア102mm、ストローク105mm、圧縮比17.8の単気筒ディーゼル機関(ヤンマーディーゼル製NFD-170(E))を用いて燃焼時間履歴を計測した。表1に供試機関の主要仕様を示す。

3. 解析方法

KIVA-3Vの噴霧分裂モデルとしてKH-RT⁽⁴⁾モデルを用いて噴霧液滴分裂過程およびディーゼル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1(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21、51、および83をとり、総格子数を110,058とした。燃料としてテトラデカン($C_{14}H_{30}$)を使用し、総パーセル数を5,000とした。本研究では、初期液滴サイズをノズル出口径になるように設定した。

本研究では、噴孔出口からの距離が分裂長さ以下ではWAVEモデルを、分裂長さを越えた領域では、WAVEモデルとRTモデルを組み合わせて使用した。分裂長さ L_b はLevich理論より、

$$L_b = C_b d_0 \sqrt{\frac{\rho_f}{\rho_a}} \quad (1)$$

と定義される。 d_0 はノズル直径であり、 ρ_f 、および ρ_a はそれぞれ燃料および空気の密度を表す。実験定数 C_b は、

$$C_b = 0.5 B_l \quad (2)$$

として与えた⁽⁵⁾。 B_l は液滴の分裂時間を決定する定数であり、 B_l が小さくなるほど、分裂時間が短くなり、分裂が早期に完了する。

4. 結果および考察

図2(a)および(b)はそれぞれ噴霧頭部における液滴速度および液滴サイズの算術平均の軸方向変化を示す。丸印はL2Fによる測定結果を示し、実線は $B_l=10$ を、破線は $B_l=40$ による数値解析結果を示す。液滴速度の解析結果は測定値に比べ大きく見積もられている。また、測定された液滴サイズに対して $B_l=10$ による解析結果が分裂長さ以降で比較的計測結果に近い値を示している。

図3(a)および(b)はそれぞれ $z=30$ mmの噴霧軸上における液滴速度と液滴サイズの噴霧頭部における確率密度分布を示す。 $B_l=10$ の解析結果による液滴速度の広がりL2Fによる計測結果より狭くなっている。分裂の進行が遅い $B_l=40$ のサイズ分布に比べて $B_l=10$ の解析結果が測定結果に近い値となっている。

図4はKIVA-3Vによる燃焼解析で得られた熱発生率と実験結果の比較である。解析結果は $B_l=10$ および $B_l=40$ の場合ともに熱発生率のピークが実験値より過大に見積もられている。また実験結果に比べ $B_l=40$ の着火遅れが短くなっている。

Table .1 Specifications of test engine

Type of engine	YANMAR NFD170-(E)
Cycle	4
Number of cylinder	1
Cooling system	Water
Bore x Stroke	102.0 x 105.0 (mm)
Piston displacement	857 (cc)
Compression ratio	17.8
Maximum power	12.5 (KW) / 2400 (rpm)
Nozzle hole diameter	0.29 (mm)
Number of Nozzle holes	4
Injection timing	-5° BTDC

(a) Spray Simulation

(b) Combustion Simulation

Fig.1 Mesh

Fig. 2 Spatial distribution of velocity and size

Fig. 3 Probability density of velocity and size; z=30mm

図5および図6は噴射開始からクランク角 1° 後の燃焼室内の数値解析結果であり、(a)が筒内ガス温度、(b)が液滴サイズを示している。 $BI=40$ に低温領域が確認できる。これは $BI=10$ に比べ、分裂時間が遅いことから噴霧到達距離が長く、噴霧の拡散が進行したため噴霧の蒸発が促進され $BI=10$ より早期に着火したと考えられる。

5. まとめ

KIVA-3V による噴霧解析結果と L2F による液滴の速度およびサイズの測定結果を比較し KH-RT モデルにおける液滴分裂パラメータを検討するとともに、単気筒エンジンの燃焼試験を燃焼解析結果と比較することにより、液滴分裂パラメータが燃焼シミュレーションに及ぼす影響を明らかにした。

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. Yi, Y. and Reitz, R.D., SAE Paper No.2003-01-1041.
5. Jennifer and Reitz, R.D., Vol.9, pp.623-650, 1990.

Fig. 4 Rate of heat release

Fig. 5 Simulation; $BI=10$

Fig. 6 Simulation; $BI=40$