重質燃料の燃料性状が高圧噴射ディーゼル機関の微粒子生成に及ぼす影響

Effect of Fuel Properties of Heavy Oil on Particulate Emission from a High-Pressure Injection DI Diesel Engine

○正 木戸 善行 (徳島大)
正 三輪 恵 (徳島大)

学 合田 英治 (徳島大院)
学 新田 雅俊 (徳島大院)

Yoshiyuki KIDOGUCHI, The University of Tokushima, 2-1, Minamijōsanjima-cho, Tokushima
Eiji GODA, The University of Tokushima
Kei MIWA, The University of Tokushima
Masatosi NITTA, The University of Tokushima

Key words : Diesel Engine, Fuel, Emission, Particulate, High-pressure Injection

1. はじめに

ディーゼル燃焼において、燃料性状は着火および燃焼形態に直接影響を与える因子であり、排気改善に重要である。とくに、ディーゼル機関は、燃料汎用性を有することから、各種の燃料が燃焼および排気に及ぼす影響を把握することが有害排気物質低減のために重要である。しかし、代表的なディーゼル燃料である軽油についての研究は多いが⁽¹⁾⁻⁽³⁾、大型機関で用いられる重質燃料を扱ったものは少ない⁽⁴⁾。

そこで本研究では、直接噴射式ディーゼル機関を用い、高圧噴射条件のもとで、A重油と軽油による燃焼と排気特性の違いを明らかにし、A重油のセタン価および芳香族含有率、蒸留温度などの燃料性状が微粒子排出に及ぼす影響について考察した。

2. 実験装置および方法

供試機関には、シリンダ径 102mm、行程 105mm の単気筒無過給直接噴射式 4 サイクルディーゼル機関を使用した。燃料噴射ポンプは、電子制御コモンレール蓄圧方式噴射装置 (デンソー ECD-U2) を用い、噴射圧力を $P_{inj}=100\text{MPa}$ および 75MPa として測定を行った。噴射ノズルは、噴射角 145° 、噴口径 0.21mm の 5 噴口ノズルで、標準噴射時期 θ_{inj} を 0°ATDC とした。機関性能および燃焼計測は、機関回転数 $n=1800\text{rpm}$ として定常運転で行った。排出微粒子 PART の測定には、小型希釈トンネルを用い、微粒子中の固形炭素分 SOLID と可溶有機分 SOF は、ジクロロメタンによるソックスレ抽出法で分離した。全炭化水素 THC と NO_x 濃度は、エンジン排ガス測定装置 (堀場 MEXA-1500D) で測定し、排気煙濃度 S は、ボッシュ式スモークメータで計測した。シリンダ内圧力は圧電式圧力検出器 (KISTLER 601A) で計測し、着火遅れ τ 、熱発生率 $\dot{Q}$ および燃焼期間 $\Delta\theta_b$ を求めた。

表 1 に供試燃料の性状を示す。HO は A 重油で、セタン価 41、芳香族含有率 43.2%、90% 蒸留温度 353°C である。表には比較に用いた JIS#2 軽油 GO および GO を基に、セタン価 CN、芳香族含有率 AR および 90% 留出温度 T90 を変更した燃料の性状も示す。A 重油では、セタン価の影響を調べるために、セタン価向上剤 (ヘキシルナイトレート) を $0.2\text{vol}\%$

混合させてセタン価を 48 とした燃料も用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 A 重油と軽油の比較 はじめに、A 重油が燃焼および排気特性に及ぼす影響を調べた。図 1 は、噴射圧力 $P_{inj}=100\text{MPa}$ 、噴射時期 $\theta_{inj}=0^\circ\text{ATDC}$ の条件で、A 重油と JIS#2 軽油の場合の平均有効圧力 $P_e=0.7\text{MPa}$ におけるシリンダ圧 p と熱発生率 $\dot{Q}$ のクランク角 θ に対する経過を示す。

Fig.1 Comparison of combustion process

Fig.2 Comparison of combustion and emission characteristics

Table 1 Fuel properties

Fuel code	HO	JIS#2 (GO)	CN43AR38	CN55AR38	CN49AR0 (T307)	CN49AR0 (T388)
Specific Gravity (15°C kg/m ³)	872.8	836.3	842.6	837.6	788.0	791.6
Viscosity (30°C mm ² /s)	4.871	4.28	2.564	2.436	3.630	4.946
Cetane Number	40.7	57.4	43.1	54.5	48.8	48.5
Distillation Temp. (°C) 50%	301	284	251.0	252.5	249.0	254.5
90%	353	345	305.5	307.5	307.0	387.5
Sulfur (massppm)	(690ppm)	(420ppm)	1	1	<1	<1
Lower Caloric Value (J/g)	42210	42880	42431	42525	43910	43970
Saturates (wt%)	54.8	(74.3)	61.3	61.3	100.0	100.0
Aromatics (wt%)	43.2	(25.7)	38.7	38.7	0.0	0.0

また、図 2 (a) に燃焼特性である最大圧力 p_{max} 、最大圧力上昇率 $\dot{p}_{max}$ 、最大熱発生率 $\dot{Q}_{max}$ 、燃焼期間 $\Delta \theta_b$ 、初期燃焼割合 Q_p/Q_i 、および着火遅れ τ を、図 2 (b) に排気特性である排気煙濃度 S 、THC 濃度、 NO_x 濃度、微粒子濃度 $PART$ 、微粒子中の固形炭素分 $SOLID$ と可溶有機分 SOF および熱消費率 $BSEC$ を平均有効圧力 P_e に対して示す。燃焼特性をみると、軽油に比べて A 重油は、高負荷域では、着火遅れが長く、初期熱発生率の立ち上がりが大きくなって最大熱発生率、最大圧力がともに大きくなる。一方、低負荷域では、A 重油のほうが最大熱発生率、圧力上昇率、最大圧力がともに小さくなり、燃焼期間が長くなる。排気特性をみると、高負荷域では、A 重油のほうが NO_x 濃度が高いが微粒子濃度は低くなる。これは A 重油のほうが $SOLID$ 分が低いことによる。低負荷域では、 NO_x 濃度は同等であるが、A 重油のほうが SOF 分が過大になり、このため微粒子濃度は A 重油のほうが多く、THC 濃度も高い。これは、A 重油ではセタン価が 41 と低く、低負荷では失火しているためと考えられる。

3.2 燃料性状の影響 このように、A 重油ではセタン価が低いことによる排気特性への影響が大きいため、A 重油にセタン価向上剤を添加してセタン価を 41 から 48 に変更して、排気特性を調べた。図 3 は、噴射時期 $0^\circ ATDC$ でセタン価を変更したときの排気特性を示す。図より、A 重油のセタン価向上によって微粒子や THC 濃度に対して大幅な低減効果が得られることがわかる。

次に、軽油系燃料を用いてセタン価以外の燃料性状が排気特性に及ぼす影響を調べた。図 4 は、芳香族含有率が排気特性に及ぼす影響を示す。芳香族含有率が大きくなると、高負荷域でわずかに NO_x 濃度、微粒子濃度、 SOF 、 $SOLID$ がともに増加する。また、噴射圧力が高いほど排気特性に対する芳香族成分の影響が小さくなる。図 5 は、蒸留温度が

Fig.3 Effect of cetane number on combustion characteristics

Fig.4 Effect of aromatics on emissions

Fig.5 Effect of distillation temperature on emissions

Fig.6 Comparison of particulate emission

排気特性に及ぼす影響を示す。排気煙に対して蒸留温度の影響は小さいが、蒸留温度が高くなると、微粒子濃度は全負荷域で高くなる。これは、 SOF 分の増加が大きいためである。図 6 は、A 重油と軽油についてセタン価に対する微粒子の排出傾向をまとめたもので (a) は高負荷 $Pe=0.7MPa$ 、(b) は低負荷 $Pe=0.2MPa$ について示す。微粒子のうちで $SOLID$ は、A 重油でもセタン価が同等の軽油と比較すれば $SOLID$ の排出量は同程度である。しかし、 SOF の排出量はセタン価が同一でも A 重油のほうが多い。一方、低負荷の場合もセタン価同一と比較すると、A 重油で SOF の排出が多い。したがって、A 重油で SOF が多くなるのは、セタン価が低く蒸留温度が高いことと芳香族成分が多いためと思われる。そのため、低負荷時の THC 濃度も高くなる。

4. まとめ

(1) 軽油に比べて A 重油は、高負荷域では、着火遅れが長く、初期熱発生率の立ち上がりが大きくなって最大熱発生率、最大圧力がともに大きくなる。一方、低負荷域では、A 重油のほうが最大熱発生率、圧力上昇率、最大圧力がともに小さくなる。

(2) A 重油と軽油の排気特性を比較すると、高負荷域では、A 重油のほうが NO_x 濃度が高いが $SOLID$ 分が低いいため微粒子濃度は低くなる。低負荷域では、A 重油のほうが SOF 分が過大になるため微粒子濃度が高くなり、THC 濃度も著しく増加する。これは、A 重油ではセタン価が 41 と低いことが大きな要因と考えられる。

(3) 同一セタン価で A 重油と軽油を比較すれば、 $SOLID$ の排出量は同程度であるが、 SOF の排出量はセタン価が同一でも A 重油のほうが多い。とくに、低負荷でこの傾向が顕著である。これは、A 重油では芳香族成分が多く蒸留温度が高いためと思われる。

参考文献

- (1) Ullman, T.L., et al., SAE941020, 1994.
- (2) Li, X., Chippior, W.L. and Gilder, O.L., SAE962116, 1996.
- (3) Kidoguchi, Y., et al., SAE2000-01-1851, 2000.
- (4) 李, ほか 3 名, 自動車技術会論文集, No.35, pp.44-51, 1987.