高速機関における低セタン指数燃料の燃焼と始動性*

長谷川 勝 男** 高 橋 秀 行**
小 田 健 一**

Effects of Cetane Index of Fuel on Combustion and Start Up Performances for High Speed Diesel Engine

By Katsuo Hasegawa, Hideyuki Takahashi, Ken'ichi Oda

Effects of cetane index of fuel on engine performances and exhaust emissions were studied by using a single cylinder diesel engine. Start up tests were carried on various fuels of cetane indexes from 35 to 60. In the case of cetane index of 40 or less, start up periods have been lengthened, and exhaust emissions such as white smoke, CO and hydrocarbon have increased. At the low load operation, combustion was deteriorated resulting from the excess ignition delay when fuel's cetane index was 40 or less. On the other hand, the condition of high load operation, NOx emission and noise were increased with decreasing cetane index. These are due to the high rate of combustion pressure rise just when the violent premixed combustion caused by long ignition delay occurred. It has been understood that various influences appear remarkably when cetane indexes below 40 or 45 for high speed diesel engines.

Keywords : Cetane Index, NOx, White Smoke, Diesel Engine, Ignition Delay

1. はじめに

わが国の石油製品の需給動向をみると、産業構造の変化や公害規制の強化のなかで、B重油、C重油といった重質留分の需要が減退する一方で灯油、軽油及びA重油の中間留分の需要が伸びている。この燃料油需要の軽質化に対応するため、製油所では重質油分解設備の増強が進められており、そこから得られる分解軽油のA重油への混合割合が増加しつつある¹⁾。A重油を燃料とするディーゼル機関では、着火性の劣る分解軽油が必要以上に混入されれば、始動性の低下、白煙の発生、燃焼最高圧の上昇や振

動・騒音の増大等様々な影響が懸念される。燃料の着火性の良し悪しの指標としてセタン指数（セタン価）が用いられる。JISでは軽油の性状としてセタン指数は45以上と規定しており、実際にはセタン指数50～60の燃料が供給されている。A重油のセタン指数はJISでは規定されていないが、これまで軽油並のセタン指数の燃料が供給されてきた。

漁船で使用される燃料は、小型沿岸漁船の高速ディーゼル機関を中心に軽油の使用率が増加しつつあるものの、全体ではA重油が80%、軽油が20%の割合で圧倒的にA重油が多い。漁船ではA重油の使用割合が多いことから、低セタン指数燃料使用による漁船機関への影響を評価し、トラブルを未然に防止する必要がある。ここでは、シリンダ径が118mmの単気筒高速ディーゼル機関を用いて、機関の始動性、機関性能と燃料のセタン指数の関係を検討する。

*原稿受付 平成9年2月5日

第56回春季学術講演（平成8年5月15日）

**正会員 水産庁 水産工学研究所（茨城県鹿島郡波崎町海老台）

表 1 供試燃料油の性状

試料名	分解軽油 (LCO)	直留軽油 (LGO)
密度 15℃ g/cm ³	0.900	0.836
引火点 (PM) °C	74	74
粘度 50℃ mm ² /s	1.97	2.9
粘度 30℃ mm ² /s	2.89	4.45
流動点 °C	-15	0
10%残油 残留炭素分 質量%	0.17	0.03
硫黄分 質量%	0.21	0.79
セタン指数(JIS)	29.5	62
総発熱量 kJ/kg	44,707	45,502
初留温度 °C	182.5	197
10% 留出温度 °C	220.5	250.0
50% 留出温度 °C	262.5	294.0
90% 留出温度 °C	321.5	336.0
95% 留出温度 °C	336.0	345.0
組成 (vol%)	飽和分 29.7	79.7
	不飽和分 8.5	0.1
	芳香族分一環 27.7	12.3
	二環 28.8	6.7
	三環 5.3	1.3
C/H 原子比	0.67	0.52

図 1 横型単気筒機関実験装置

ディーゼル機関の排気ガスが環境に与える影響が問題になっていることから、機関始動時の白煙、一酸化炭素、炭化水素等の排気特性についても燃料のセタン指数の影響を評価する。

2. 実験装置および方法

2.1 供試燃料 表 1 に示す分解軽油 (LCO) と直留軽油 (LGO) を適宜混合してセタン指数 35, 40, 45, 50, 60 の燃料を作成した。セタン指数の計算は現行の JIS の算出法に依った。以下、セタン指数 35 の燃料を CI : 35 と記す。

2.2 実験装置 実験機関として、ボア/ストローク=118/108mm, 総排気量 1.181L, 直接噴射式, 定格出力 14.7kW (20PS) /2200rpm, 定格時正味平均有効圧 $P_{me}=0.68$ MPa, 圧縮比 16.5 の横型の単気筒ディーゼル機関 (無過給) を用いた。実験装置の概略を図 1 に示す。始動時の白煙の測定には、インライン型透過式の煙濃度計 (司測研 ILS-01) を用いた。排気ガスの濃度は、NO_x計, 酸素濃度計, CO計, 炭化水素 (THC) 計を用いて計測した。

2.3 実験方法 始動試験では、始動後の回転数が 970rpm となるように燃料ラックを固定した状態で、機関を始動させ 30 分間データを集録した。

続いて、回転数 1800rpm 一定の条件で、負荷を 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 と順次変化させてデータを収録した。ここでは、正味平均有効圧 (P_{me}) が定格時の P_{me} と等しくなる条件を負荷 4/4 と定義している。つまり負荷率はトルクを表している。なお、燃料のセタン指数の影響は特に寒冷期に問題となることから、実験を冬季に行った。

3. 結果および考察

3.1 始動性とセタン指数の関係 燃料のセタン指数と始動時の回転数変化の関係を図 2 に示す。燃料ラックを固定した状態で、計測開始後 60 秒過ぎにセルモータで機関を始動させている。CI : 40 以上の燃料では容易に始動可能であるのに対し、CI : 35 の燃料では 20 秒程度セルモータを回し続けると始動できなかった。始動試験時の室温は 8 ~ 10℃, 湿度は約 40% と一定の条件である。燃焼室で噴霧された燃料が着火するか失火するかは圧縮温度が関係することから、吸気温度の影響が大きいことが指摘されている²⁾。寒冷地ではより始動が困難となることが予想される。

図 3 に透過式の煙濃度計で計測した煙濃度を示す。

図2 始動時の回転数の変化

図3 始動時の煙濃度（白煙）

図4 始動時のCO濃度

煙濃度は光の減光率で表されており、この数値は白煙を定量化するものと考えられる。セタン指数の高低に関わらず始動直後は白煙が発生している。CI:45以上の燃料では白煙は数分以内で消滅しているが、CI:40以下になると白煙の継続時間が長くなる。ディーゼル機関の排気は、始動直後等燃焼が極端に悪いと白煙が現れ、暖機されるにつれ青煙に変わり

図5 始動時の炭化水素濃度

図6 始動後の筒内圧

やがて消滅すると云われる。青白煙は未燃燃料の排出によるものが主であり、その粒径が大きい（ $1 \sim 10 \mu m$ ）と白煙となり、小さいとき（ $1 \mu m$ 以下）に青煙となって見えるとされる³⁾。従って、セタン指数が低い燃料では噴霧された燃料のうち燃焼しないで排出される割合が多くなっていることがわかる。

図4には一酸化炭素濃度の経時変化を示す。始動後のアイドリング時のCO排出濃度は負荷運転時に比較して高いレベルにある。図5は、炭化水素の排出濃度を示したものである。低セタン指数燃料の使用は、未燃の燃料成分の排出量増加をもたらす。機関より排出された炭化水素成分のうち、粒子状のものは白煙として観察されるものと考えられる。今回のTHCの計測系ではサンプリングラインを保温していないために、凝縮やフィルタ部での捕捉等により、THC計測値は必ずしも粒子状の炭化水素をも含めた値ではない。

機関始動から10分経過時に収録した指圧線図を図6に示す。各波形はそれぞれ10サイクルの燃焼波形を平均したものである。CI:35でもサイクル間の

図7 筒内圧の過渡特性

筒内圧の変動は小さかった。図6より、セタン指数が低下するに従い着火時期が遅れ最高圧も低下している様子がわかる。

以上のように、始動時間、始動時の白煙、CO濃度、THC濃度、燃焼波形とも燃料のセタン指数の影響を強く受けることがわかった。これらのうち、始動時間と白煙は機関使用者でも客観的に判断可能であり、燃料のセタン指数が極端に低くなればクレームの原因となろう。現に北海道地区の漁船では冬季に白煙発生に伴うクレームが出始めているとのことである。

3.2 始動時の筒内圧の過渡特性 図7に機関始動時の過渡的な筒内圧の変化を50サイクル連続で示す。CI:40とCI:60の燃料の計測結果を示している。CI:60では、セルスタータの起動とともに着火し筒内圧の上昇がみられる。一方、CI:40では、しばらくは着火せず、失火が続いている様子がわかる。

始動時のサイクル数と筒内圧の最大値の関係を図8に示す。CI:60ではセルスタータ起動と同時に最高圧は上昇を続け、回転数が安定したところで一

図8 最高圧の変化

定の値(約5.5MPa)に落ちついている。CI:40では20サイクルを過ぎたところで着火が安定し、機関が始動している。始動後も最高圧はモータリングによる最高圧を僅かに上回る程度である。いずれにせよ、CI:60とCI:40の燃料とも始動時に過渡的に圧力上昇がみられることがわかる。

3.3 負荷運転時の燃焼性とセタン指数の関係 機関回転数1800rpm一定のもとで、負荷を1/4から4/4まで順次高めながら、NO_x濃度、CO濃度、スモーク、排気温度、騒音値等を測定した。

図9にNO_x排出濃度、CO排出濃度、スモーク濃度を示す。高負荷運転時にはセタン指数が低下するとNO_x濃度は上昇する傾向にある。CI:60とCI:35を比較すると20%程度NO_x濃度が增大している。一方、低負荷運転時にはNO_x濃度は低下する傾向にある。特に負荷1/4ではCI:45以下になるとNO_x濃度が低下する反面COの排出量が急激に増加している。スモーク濃度は、セタン指数が小さくなるほど低下している。つまり燃料の着火性が悪くなると着火遅れが長くなることにより蓄積された予混合気が一気に燃焼する結果、黒煙の生成が抑制されたものと考えられる。

図10には、機関より1mの位置で計測した騒音値、排気温度、燃費率を示す。CI:60では負荷率が異

図9 NOx, CO, スモーク濃度

図10 騒音, 排気温度, 燃費率

なっても騒音は100dB前後であるのに対し、セタン指数が低下すると負荷率によって騒音値が違ってくる。負荷4/4ではセタン指数の低下に従い騒音が大きく増大している。発熱量換算した燃費率は、セタン指数にはほとんど影響されていないが、CI: 35の負荷1/4時では燃費率が増加する傾向を示す。

負荷1/4および負荷4/4のときの筒内圧、熱発生率、筒内温度を図11および図12に示す。筒内圧は10サイクル分の燃焼波形を平均化したものである。負荷1/4の条件では、セタン指数の低下に伴い着火時期が遅れている。CI: 35では着火が大幅に遅れ燃焼最高圧が小さくなっている。このために負荷1/4の条件ではNOx濃度が低減し同時にCO濃度が増加したものと考えられる。

負荷4/4時(図12)では、燃料のセタン指数が低くなると、着火は遅れるが燃焼最高圧はむしろ増大する傾向を示し、熱発生率の最大値が大きくな

ている。筒内温度は、セタン指数が低下すると立ち上がりは遅れるものの最高温度は高くなる傾向にある。このように、セタン指数の低下に伴って急激な燃焼が行われる結果NOx生成量が増加したものと考えられる。また、騒音も急激な燃焼による燃焼音に起因して増大している。

4. ま と め

燃料のセタン指数の影響を単気筒の高速機関を用いて調べた結果を以下に要約する。

- (1) 燃料のセタン指数の影響は始動時に顕著である。CI: 40以下では急激に始動時間が長くなり、白煙の持続、COおよびTHC濃度の増大がみられ、燃焼が極端に悪くなる。
- (2) 低負荷運転時では、セタン指数の低下は不完全燃焼生成物を増大させ、燃費率も悪化させる。

図11 負荷1/4時の燃焼波形

図12 負荷4/4時の燃焼波形

(3) 高負荷運転時に、低セタン指数燃料を用いても燃焼は良好であり、スモークが低減するが、 NO_x 、騒音は増大する。

機関に及ぼす燃料のセタン指数の影響は、圧縮比やシリンダ径等の機関型式や吸気温度に依っても違い、小型高速機関を寒冷地で用いる場合に最もその影響が大きく出るものと考えられる。これらの因子も含めた評価は今後の課題である。終わりに、燃料基材の提供および性状分析に関して便宜をはかって頂いた全漁連油質研究所の各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 猪浦宏元：最近の重油の品質動向，日石レビュー，Vol. 35, No. 1, p. 6-12 (1993)
- 2) 小早川：ディーゼルエンジン始動性の化学的改善法に関する一提案，内燃機関，Vol. 18, No. 230, p. 25-37 (1979)
- 3) 稲葉：中小型直接噴射式ディーゼル機関の青白煙について，漁船機関No. 779, p. 46-53 (1991)