

報 文 2

# JASO DH-2F対応超省燃費ディーゼルエンジン油 「ディーゼルグランドDX 0W-30」の開発

中央技術研究所 潤滑油研究所 エンジン油グループ まつだ ひろみつ  
松田 裕充



## 1. はじめに

内燃機関の中で、ディーゼルエンジンは燃費が良く、高い耐久信頼性を有することから、車両、建機、船舶など幅広い分野で使用されている。その反面、排出ガス中のPM (Particulate Matter; 粒子状物質)とNO<sub>x</sub> (Nitrogen Oxides; 窒素酸化物)が多く、これによる大気汚染が大きな社会問題となった。そのため、日本では1994年制定の「短期規制」以降、PMとNO<sub>x</sub>の大幅な低減が求められてきた。例えば2009年に導入されたいわゆる「ポスト新長期規制」では、PMが1994年規制値の1/100、またNO<sub>x</sub>は同規制値の1/9となっており、排出ガス規制は大幅に強化された。こうした規制に対し、各自動車会社はエンジンの燃焼改善によりPMとNO<sub>x</sub>の発生を抑えるだけでなく、PM処理のための連続再生型DPF (Diesel Particulate Filter) やNO<sub>x</sub>処理のための尿素SCR (Selective Catalytic Reduction; 選択還元型触媒) およびNO<sub>x</sub>吸蔵触媒などの後処理装置を導入することにより対応してきた。

こうした技術革新により排出ガスがクリーンになってきた中、自動車全体のCO<sub>2</sub>排出量の約27%を占める大型ディーゼルエンジン車にもガソリンエンジン車同様に燃費改善が求められるようになってきた。2005年施行の改正省エネ法において、初めて重量車 (=大型ディーゼルエンジン車) 燃費基準として2002年度対比での燃費目標値が設定された。この燃費目標値は車両の種類・重量に応じて細かく設定されているが、平均すると2002年度対比で約12%の燃費改善が求められている<sup>1)</sup>。この後も継続した燃費改善が要求されており、最近では新たに2025年度燃費基準案として2015年度対比約13.5%の燃費改善が提案されている<sup>2)</sup>。

こうした日本国内の背景を踏まえ、排出ガス後処理装置への対応とともに省燃費性能も盛り込んだ大型車用省燃費ディーゼルエンジン油規格JASO (Japan Automobile Standards Organization; 日本自動車規格) DH-2Fが2017年4月に新しく制定された。

当社では、これまで省燃費ディーゼルエンジン油として「ディーゼルグランド DX 5W-30」や「ディーゼルグランド DX 0W-40」<sup>3)</sup>を開発してきたが、新たにDH-2F規格対応

超省燃費ディーゼルエンジン油として「ディーゼルグランド DX 0W-30」を開発し、2018年2月に発売する。本稿では、DH-2F規格について説明するとともに、この「ディーゼルグランドDX 0W-30」の開発経緯とその性能について報告する。

## 2. DH-2F 規格について

### 2.1 規格動向

JASOの大型ディーゼルエンジン油規格としては、これまでに、長期排ガス規制対応およびそれ以前のエンジン用としてDH-1規格が2000年に、そして新長期排ガス規制対応エンジン用として硫酸灰分量や硫黄量などにケミカルリミットを設けたDH-2規格が2005年に制定された。これらのJASO規格には省燃費性に関する要求は含まれていない。一方、米国API (American Petroleum Institute; アメリカ石油協会) 規格でも大型車用ディーゼルエンジン油の省燃費油規格は今までなかったが、2016年12月に省燃費油の新規格API FA-4が市場導入された(ただしAPI FA-4では、ディーゼルエンジン油の省燃費性を燃費試験によって評価するのではなく、高温高せん断粘度の低粘度化により規定するものとなっている)。

前記の通り燃費目標基準がJASO規格に反映されていないことやAPI規格の動向を踏まえ、国内の自動車、石油、建機等業界から、JASO規格に大型車用ディーゼルエンジン油の燃費試験法およびそれを盛り込んだ省燃費ディーゼルエンジン油規格を作成することが強く要望された。その結果、石油連盟と一般社団法人日本自動車工業会および建機業界等に属する多くの企業・団体が構成されたJASOディーゼルエンジン油改正タスクフォースにより、新しい省燃費性評価試験法JASO M362:2017が開発された<sup>4)</sup>。また、この省燃費試験を用いた省燃費性能を要求項目に盛り込んだ大型車用省燃費ディーゼルエンジン油規格JASO DH-2Fが2017年4月に制定され、2017年10月から市場導入開始となった。DH-2性能に省燃費性(Fuel economy)を付与した規格である事がイメージしやすいようにDH-2Fと命名されており、改正された自動車用ディーゼル機関潤滑油規格JASO M355:2017に記載の通り、省燃費性以外の要求性能とその規格値は従来のDH-2と変わらない規格となっている(表1)。

表 1 大型ディーゼルエンジン油規格 (JASO M355 : 2017 より一部抜粋)

	DH-1	DH-2	DH-2F (新)
ピストン清浄性	N04C (JASO M336)		
動弁系摩耗	N04C (JASO M354)		
省燃費性	-	-	N04C (JASO M362) (新) 燃費向上率 (新油) : 3.7% 以上 燃費向上率 (新油 + 劣化油) : 6.8% 以上
塩基価 (mgKOH/g)	10.0 以上		5.5 以上
硫酸灰分 (mass%)	-		1.0 ± 0.1
りん (mass%)	-		0.12 以下
硫黄 (mass%)	-		0.5 以下

2.2 省燃費性評価試験法

新しく開発された省燃費性評価試験法 JASO M362 : 2017 について、試験エンジンは現在の清浄性試験 (JASO M336 : 2014) や動弁系摩耗試験 (JASO M354 : 2015) で使用されているのと同じ日野自動車製 N04C-VH (図 1、表 2) を用いている。



図 1 省燃費性評価試験用エンジン (N04C-VH)

表 2 エンジン諸元

日野自動車製 N04C-VH	
気筒数	直列 4 気筒
総排気量, L	4.009
燃焼室形状	直接噴射式
過給機	インタークーラーターボ
最大出力, kW/ (r/min)	120/2,800
最大トルク, Nm/ (r/min)	430/1,600

このエンジンを用いた試験の中で、各試験油の燃費 (km/L) は、国土交通省が定めた重量車燃料消費率試験方法 (TRIAS 5-8-2010) の計算プログラムの規定に準じ算出される。具体的には、台上エンジン試験装置にて、モータリング試験でのフリクショントルクの測定および定常条件・アイドリング条件でのファイアリング燃費試験を行い、これらの結果から燃費マップを作成する。この燃費マップ

とエンジン・車両諸元を、重量車燃料消費率計算用プログラムに入力することにより、JE05 モードでの運転をシミュレーションし、燃費を算出する。なお、試験時のエンジン油温度については、冷機状態を想定した 60℃および暖気状態を想定した 90℃の 2 条件で行われる。

試験油の省燃費性は得られた燃費データを元に基準油である DBL1 (粘度グレードは SAE 30 (Society of Automotive Engineers, : 米国自動車技術者協会粘度分類)) に対する燃費向上率として求められる。また、使用過程における燃費向上がお客様にとって重要なことから、本試験において各試験油は新油だけでなく数万 km 走行を想定した劣化油の燃費も測定する。劣化油は燃費試験用エンジンとは別の耐久試験専用のエンジンを用い、JASO M336 又は M354 (これら 2 つは運転条件は同一) に従って 200 時間の耐久試験を行い作成する。

試験油 (新油および劣化油) の燃費測定順序を図 2 に示す。各試験油の燃費測定においては、その測定の前後に基準油 DBL1 の燃費を測定し、燃費向上率の算出に用いる。例えば試験油の新油の燃費向上率は、①と③の DBL1 (新油) の燃費の平均値に対する燃費向上率を油温 60℃、90℃毎に求め、最終的には 60℃と 90℃での燃費向上率を平均した値が、試験油 (新油) の燃費向上率となる。また試験油の劣化油の燃費向上率についても同様であり、③と⑤の DBL1 (新油) の燃費の平均値と④の試験油 (劣化油) の燃費を比較し、油温 60℃、90℃毎の燃費向上率および、その平均値として試験油 (劣化油) の燃費向上率を得ることができる<sup>4), 5)</sup>。JASO DH-2F 規格における省燃費性の規格値は、新油平均燃費向上率が 3.7% 以上、かつ新油平均燃費向上率と劣化油平均燃費向上率の合計が 6.8% 以上と規定されている。

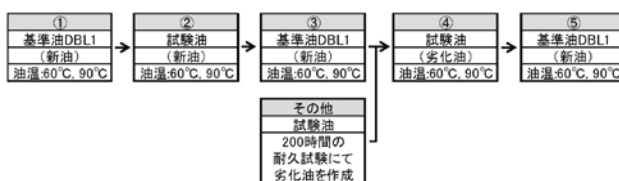


図 2 試験油の燃費測定順序

### 2.3 DH-2F 規格対応について

この新しい省燃費性評価試験法において、新油平均燃費向上率の規格値 3.7% 以上というのは、粘度グレードが SAE 5W-30 であるいくつかの市販品の中で、中間的な省燃費性能を有するオイルが合格するように設定された<sup>4)</sup>。そのため、この新しい省燃費ディーゼルエンジン油規格 JASO DH-2F に対応したディーゼルエンジン油を開発するにあたり、10W-30 や 15W-40 などの 5W-30 より高い粘度グレードではこの省燃費性評価試験に合格することが難しく、5W-30 またはこれより低い粘度グレードにする必要があると推定される。

当社は大型車用省燃費ディーゼルエンジン油としてディーゼルグランド DX 5W-30 を開発済みであるが、今回これよりも更に優れた省燃費性を有する DH-2F 適合油として「ディーゼルグランド DX 0W-30」を開発することとした。この開発について、次章以降で報告する。

## 3. 「ディーゼルグランド DX 0W-30」の開発

### 3.1 「ディーゼルグランド DX 0W-30」の基本設計

大型車用省燃費ディーゼルエンジン油規格である JASO DH-2F 規格に適合し、かつ優れた省燃費性を有することを本開発の目標とした。最上級の省燃費性を有するディーゼルエンジン油とするため、5W-30 から低粘度化するとともに摩擦低減剤として MoDTC (Molybdenum Dialkylthiocarbamate; モリブデンジチオカーバメイト) を適用することにより、大幅な省燃費性の向上を図った。

粘度の設定について、高温側の粘度は高温域でも十分な粘度を維持しエンジン信頼性を確保するため、当社従来省燃費油 5W-30 と同じ SAE 30 とした。一方で、低温側の粘度を低減し SAE 0W とすることで、実用温度域での粘度を下げ、省燃費性の向上を図った(図 3)。高温側の粘度を保つ一方、低温側での粘度を低くするには、基油や粘度指数向上剤により粘度指数を高くする必要がある。粘度指数とは温度による粘度変化を指標化したものであり、粘度指数が高いほど温度による粘度の変化度合いが小さいことを示す。基油としては当社が独自に開発した高粘度指数基油である WBASE を用いた。この基油は従来の Group III 基油 [API (American Petroleum Institute, 米国石油協会) の基油分類] や PAO (Poly- $\alpha$ -Olefin) よりも高い粘度指数を示すという特徴がある。今回、この WBASE と高性能の粘度指数向上剤を用いることにより、図 4 に示す通り低温側の粘度である 40℃動粘度を大幅に低減した。

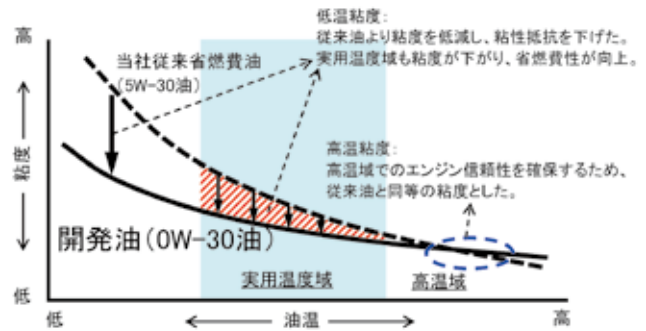


図 3 実用温度域での低粘度化のイメージ

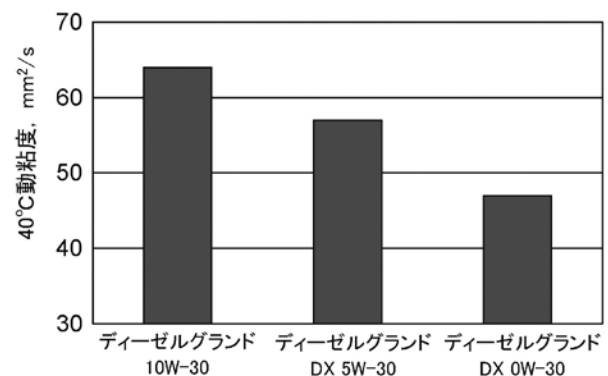


図 4 40℃動粘度の比較

エンジン油の省燃費化手法としては、前記のような低粘度化による粘性抵抗の低減だけでなく、摩擦低減剤の添加による低摩擦化が一般的である。摩擦低減剤としては、アルコールや脂肪酸などの末端に極性基を持った油性剤タイプと MoDTC (図 5) のような有機モリブデンタイプが知られており、このうち MoDTC は高い摩擦低減効果を有することから、省燃費ガソリンエンジン油に使用されている。一方、大型車用ディーゼルエンジン油での MoDTC の適用については、ススが混入した際に摩擦低減効果を失うことが知られており<sup>6)</sup>、ほとんど使用されていない。ただ、近年はディーゼルエンジンの燃焼制御の改善が進み、スス発生量が過去よりも少なくなっていることを踏まえ、本開発ではこの MoDTC を適用することとした。

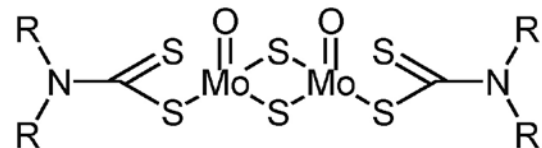


図 5 MoDTC の分子構造

### 3.2 省燃費性

「ディーゼルグランド DX 0W-30」の省燃費性について、省燃費性評価試験 JASO M362 にて確認した。基準油 DBL1 対比の新油、劣化油の燃費向上率およびその合計値を図 6 に示す。「ディーゼルグランド DX 0W-30」の新油燃費向上率は 4.9% と DH-2F の規格値 3.7% 以上を満

足した。また「ディーゼルグランド DX 5W-30」と比較すると1%以上燃費が向上し、低粘度化やMoDTCの適用により優れた省燃費性を示した。0W-30の劣化油の省燃費性については、新油燃費向上率と同等の結果であり、スとの相性から懸念されていたMoDTCの燃費向上効果の持続性については問題ない結果であった。新油燃費向上率と劣化油燃費向上率の合計値については9.8%と、規格値6.8%以上を大幅に上回る結果であった。

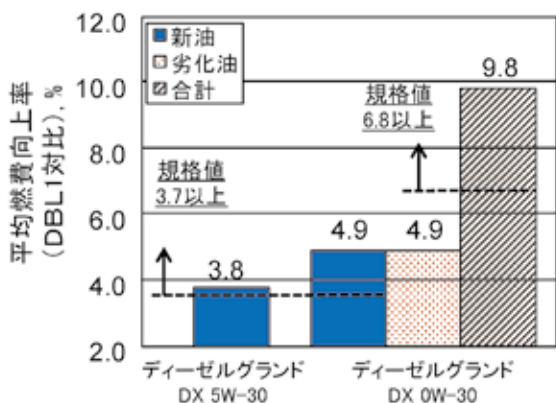


図6 「ディーゼルグランド DX 0W-30」の省燃費性評価試験結果

### 3.3 耐久信頼性

「ディーゼルグランド DX 0W-30」のエンジン耐久信頼性について、ピストン清浄性試験 (JASO M336) および動弁系摩耗試験 (JASO M354) にて確認した。ピストン清浄性試験のピストン堆積物加重総デメリット評点および動弁系摩耗試験のタペット摩耗量について、市場品 DH-2 10W-30と比較した結果を図7に示す。ピストン清浄性については10W-30から約15%改善し、良好なピストン清浄性を有することを確認した。また、動弁系摩耗についても一般的には粘度が低いほど摩耗量が増える傾向であるが、今回添加剤処方を工夫した結果10W-30と比較して約50%改善し、優れた摩耗防止性を有する事を確認した。

この「ディーゼルグランド DX 0W-30」は、省燃費性や耐久信頼性以外のDH-2F要求性能についても規格を満足することを確認しており、2018年2月に発売となった。この「ディーゼルグランド DX 0W-30」の代表性状を表3に示す。

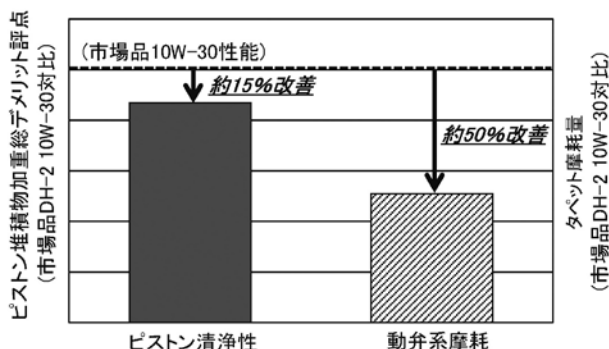


図7 「ディーゼルグランド DX 0W-30」のエンジン耐久信頼性試験結果

表3 「ディーゼルグランド DX 0W-30」の代表性状

密度 (15℃)	g/cm <sup>3</sup>	0.842
動粘度	(40℃) mm <sup>2</sup> /s	47.0
	(100℃) mm <sup>2</sup> /s	9.95
粘度指数		205
流動点	℃	<-45
酸価	mgKOH/g	1.5
塩基価 (塩酸法)	mgKOH/g	6.0
硫酸灰分	mass%	1.05
NOACK	mass%	11.8

### 4. おわりに

新しい大型車用省燃費ディーゼルエンジン油規格 JASO DH-2F が、2017年10月から市場導入開始となり、この新規格に対応した超省燃費ディーゼルエンジン油「ディーゼルグランド DX 0W-30」を開発した。「ディーゼルグランド DX 0W-30」は、低粘度化や摩擦低減剤であるMoDTCの適用により、当社の従来品である省燃費ディーゼルエンジン油「ディーゼルグランド DX 5W-30」よりも高い省燃費性能を有している。

この「ディーゼルグランド DX 0W-30」は、2018年2月に発売する。大型車用ディーゼルエンジン油については今後も省燃費性の向上が要望されると考えられる。今回の開発で得られた知見を更なる高性能エンジン油の開発に役立てていく所存である。

### — 引用文献 —

- 1) 国土交通省ホームページ, 重量車の2015年度燃費基準に関する最終取りまとめ (平成17年11月); <http://www.mlit.go.jp/jidosha/sesaku/environment/ondan/juryoushamatome0511.pdf>
- 2) 国土交通省ホームページ, 重量車の2025年度燃費基準に関するとりまとめ (平成29年12月); <http://www.mlit.go.jp/common/001213816.pdf>
- 3) 吉田悟; ENEOS Technical Review, 56, 2, 26 (2014)
- 4) 吉田悟, 富澤憲次, 田谷隆裕, 中村洋一郎, 端本健, 橋本隆, 佐藤元重, 高橋朋心, 高島厚博, 山守一雄, 平野聡伺, 山下実, 鎌恵介, 森内敬久, 荒井康, 中條智哉, 松浦賢, 赤松篤; 自動車技術会学術講演会前刷集 No. 157-16, 文献番号 20166285 (2016),
- 5) 内藤康司; 潤滑経済, 2017年1月号
- 6) 黒澤修, 山田恭久, 加賀谷峰夫; 石油製品討論会, 39-47 (2000)