

解説 1

ガソリンエンジン油新規格 ILSAC GF-5

中央技術研究所 潤滑油研究所 輸送用潤滑油グループ

むとう あきお
武藤 明男

1. はじめに

自動車用エンジン油は、一般消費者に使用されることから「規格」が公表され、それに適合したエンジン油が市場に浸透することで一定の品質が保持されている。ガソリンエンジン油の品質規格には、API (American Petroleum Institute: 米国石油協会) サービス分類およびそれに付随する ILSAC (International Lubricant Standardization and Approval Committee: 国際潤滑油標準化認証委員会)、さらに欧州の ACEA (Association des Constructeurs Europeens d'Automobiles: 欧州自動車工業会)、日本の JASO (Japanese Automobile Standards Organization: 日本自動車規格) 規格などがある。この中で、2010年10月1日から新しい API サービス分類 SN および ILSAC GF-5 規格¹⁾ がスタートする。API サービス分類はエンジン油の基本性能を規定しており、これに加え省燃費性能や触媒被毒防止性能を付随した規格が ILSAC 規格である。現在 ILSAC は、GM、フォード、クライスラーおよび JAMA (Japan Automobile Manufacturers Association, Inc.: 日本自動車工業会) により構成され、ILSAC 加盟の自動車会社から自社のエンジン性能が向上することを目的に提案された規格を大手添加剤メーカーや独立系オイルメーカー等のオイルサプライヤーが、リーズナブルに商品化可能かを検討し承諾することによって成立する²⁾。本稿では ILSAC GF-5 規格の導入背景およびその特徴を解説する。

2. 背景

ガソリンエンジン油品質規格は、エンジン技術の進歩および社会的要請を背景に変化を遂げてきた。近年、地球温暖化を防止するために世界規模で炭酸ガス排出量削減が求められ、ガソリン車を含む自動車全般の燃費規制の厳格化が進められている。

自動車の炭酸ガス排出規制は、1997年の地球温暖化防止京都会議 (COP3) で採択された「京都議定書」の締結を当初見送っていた米国が応じたことで2005年に発効され、これを契機にさらに厳しい目標値や基準値が各国で制定された。図1に日米欧の燃費規制を示す³⁾。国内では、1999年にガソリン車の2010年度燃費目標値が告示

された。この目標値は1995年度基準で平均22.8%の燃費改善率になる。さらに京都議定書の締結を受けて2007年には、2015年における燃費改善率が2004年基準で平均23.5%に達するさらに厳しい目標値が設定された。欧州では、ACEAが2008年の目標値として炭酸ガス排出量140g/kmを制定し、さらにEU (European Union: 欧州連合) が、2012年の炭酸ガス排出量の目標値を130g/km以下に削減する規制の導入を決定した。米国では、1970年代の石油危機を契機に規定された自動車燃費規制プログラムで導入された企業別平均燃費規制 CAFE (Corporate Average Fuel Economy) の基準値 (CAFE 基準値) を2016年までに乗用車で39マイル/ガロン (約17km/L)、小型トラックで30マイル/ガロン (約13km/L) に制定した。さらにCAFE基準値を2020年までに乗用車、小型トラックともに35マイル/ガロン (約15km/L) に引き上げる法案が成立した。加えて大気汚染防止のために排出ガス後処理装置への適合性が強化された。この米国政府による厳しい排出ガス規制に対応するため ILSAC は新たな規格 GF-5 を制定した。

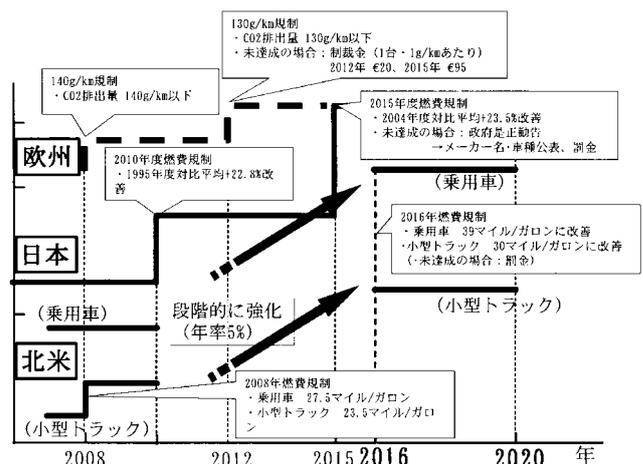


図1 日米欧の燃費規制

3. GF-5 規格の特徴

比較のため GF-4 規格と GF-5 規格を表1にまとめる。GF-5 規格のポイントは、GF-4 規格からさらに厳しくなった省燃費性能とその持続性およびエンジンの市場トラブル

3.1 新油粘度特性

GF-5 規格の対象となる粘度グレードおよびゲル化指数は、GF-4 規格から変更されていない。対象となる粘度グレードは、省燃費性能を重視した低粘度油である SAE J300 粘度分類⁶⁾の 0W-XX、5W-XX、10W-XX 適合油であり、ゲル化指数は 12 以下である。

3.2 エンジン試験

(1) 高温酸化安定性試験 Seq. III G

高温酸化安定性試験は、GF-4 規格導入の際に Seq. III F から Seq. III G への大きな変更があったことから、GF-5 規格導入に際しては評価項目の 1 つであるピストンデポジットの評点のみの変更にとどまった。具体的には、ピストンデポジット WPD (Average Weighted Piston Deposits) の評点が、GF-4 規格の 3.5 以上から 4.0 以上に厳格化された。WPD はピストン各部の清浄性に重み付け (Weight Factor) を乗じ加算し全ピストンを平均化したものである。ILSAC は、当初エンジンの市場トラブル発生を抑制するために大幅な耐スラッジ性向上を目指し WPD5.0 以上を提案した。しかし清浄性を向上させる添加剤の増量は、粘度増加につながり省燃費性能を悪化させる原因となることから、最終的に WPD は現在の技術で清浄性能と省燃費性能を両立可能な 4.0 以上に規定した。

(2) 低温清浄性試験 Seq. V G

低温清浄性試験は、あまり温度の上がない運転条件を繰り返す、いわゆる“STOP and GO”が多い市街地の走行パターンをシミュレートした試験条件でエンジン油のスラッジおよびワニスの生成防止能力を評価する。ILSAC は、エンジン内に蓄積したスラッジによってエンジン油が供給されなくなるような状態を回避するために GF-5 導入に際しては、この低温清浄性試験の厳格化を提案し、最終的に平均エンジンスラッジの評点が 7.8 以上から 8.0 以上へ、ロッカーカバースラッジの評点が 8.0 以上から 8.3 以上へ、オイルスクリーン目詰まりの面積%が 20% 以下から 15% 以下への変更が決定した。

(3) 省燃費性試験 Seq. VI D

今回の GF-5 規格導入にともなう大きな注目点が、新たな省燃費試験法の規格化である。米国で成立した CAFE 基準値を 2020 年までに乗用車、小型トラックともに 35 マイル/ガロン (約 15km/L) に引き上げる法案に対処するため、ILSAC とオイルサプライヤーで構成する ILSAC/OIL 委員会は、GF-5 規格導入に際して次期省燃費試験法を開発し Seq. VI D 試験⁷⁾として規定した。GF-3 規格および GF-4 規格で規定された Seq. VI B 試験ではフォード製 4.6L OHC V8 エンジンを用いていたが、Seq. VI D ではより現状に即した評価ができるように最新の GM 製 3.6L DOHC V6 エンジンを採用した。Seq. VI D の試験条件を表 2 に示す。各ステージの重み付けは、試験用エンジンが搭載された車両で表 2 の各ステージの走行や FTP (Federal Test Procedure for fuel economy) と高速走行の結果を

統計的に解析することで決定されたが、油温 115℃ のステージの重み付けが大きくなっている⁸⁾。

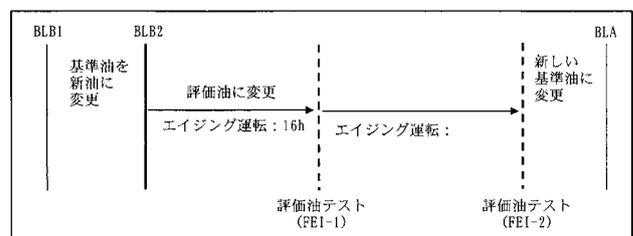
表 2 Seq. VI D の試験方法

ステージ	運転時間 h	エンジン 回転数 rpm	トルク Nm	出力 kW	油温 ℃	水温 ℃	重み付け ファクター
1	1	2000	105	21.99	115	109	0.300
2	1	2000	105	21.99	65	65	0.032
3	1	1500	105	16.49	115	109	0.310
4	1	695	20	1.46	115	109	0.174
5	1	695	20	1.46	35	35	0.011
6	1	695	40	2.91	115	109	0.172

次に試験法を図 2 に示す。試験法は基本的に Seq. VI B と同じであるが、いくつかの点に変更された。初めに基準油 BL (Baseline Calibration oil) で燃費 (BLB1) が測定される。つぎに新しい基準油に交換して燃費 (BLB2) が測定される。BLB2 の BLB1 に対する差が -0.20 ~ 0.40% 内であれば、評価油に交換しエイジング運転を 16 時間行った後に燃費を測定する (Phase1)。燃費測定後に 84 時間のエイジング運転を行い、再度燃費を測定する (Phase2)。最後に新しい基準油に交換して燃費 (BLA) を測定する。評価油の Phase 1 での燃費測定結果から計算される初期燃費向上率を FEI (Fuel Economy Improvement) 1 と呼び、Phase 2 での燃費測定結果から計算される劣化時燃費改善率を FEI 2 と呼ぶ。なお Seq. VI D では、Phase 2 のエイジング運転時間が Seq. VI B の 80 時間から 84 時間に微増している。また FEI 1 と FEI 2 を計算する際には、基準油の燃費重み付けが以下のように行われる。Seq. VI D では、Seq. VI B と比較して省燃費維持性がより重視され FEI 1 と FEI 2 の合算である FEI SUM および FEI 2 で規定され、さらに厳しい要求となった。

$$FEI1 : BLB2 \times 0.8 + BLA \times 0.2$$

$$FEI2 : BLB2 \times 0.1 + BLA \times 0.9$$



BLB1: Baseline Test Before-1
BLB2: Baseline Test Before-2
BLA: Baseline Test After
基準油: SM 5W-30 MoDTC未添加

エイジング運転条件
回転数: 2,000rpm
負荷: 110Nm
油温: 120℃
試験時間: 100h (6,500 miles相当)
オイル消費量: 0.5L

図 2 Seq. VI D の試験法

3.3 ベンチ試験

(1) 触媒適合性試験

触媒被毒防止の観点から ILSAC では、エンジン油中のリン量の上限が規定されている。GF-4 規格まではエンジン油中のリン量のみ規定されていたが、GF-5 規格ではリン蒸発性が評価項目に追加された。エンジン油中のリンは、摩耗防止および酸化防止の両機能を有するジアルキルジチオリン酸亜鉛 (ZDTP) に由来するが、ZDTP のアルキル基の違いや金属系清浄剤との相互作用により、リンの蒸発性は異なることが分かってきた。^{9) 10)} 実際に触媒が影響を受けるのは蒸発したリンのため、リンの蒸発性を評価する方法が検討され、最終的に新油中の Ca 濃度とリン濃度および Seq. III G の使用油中の Ca 濃度とリン濃度から①式より求めた PR (Phosphorous Retention) で評価する Seq. III GB¹¹⁾ が規定された。計算式に Ca 濃度の項が入っているのは、Ca が他金属と比較してエンジン油に多く含有され、さらに量的な変化が少ないことから使用油の濃度変化の項として採用されている。またリン濃度は、触媒被毒の観点から最大値 0.08% 以下と規定されているが、耐摩耗性を確保するために最小値 0.06% 以上が規定されている。

$$PR (\%) = \frac{\text{新油中 Ca}(\%) / \text{使用油中 Ca}(\%) \times \text{使用油中リン}(\%)}{\text{新油中リン}(\%)} \times 100 \quad \text{①}$$

(2) 高温清浄性

ILSAC はエンジンの市場トラブル発生を抑制するためにエンジン試験 Seq. III G の WPD だけでなくベンチ試験 TEOST MHT-4 の許容デポジット量の厳格化に加え TEOST 33C¹²⁾ の追加を提案してきた。TEOST 33C の条件を表 3 に、試験法を図 3 に示す。TEOST 33C は、GF-2 規格で規定されていた空冷ターボチャージャーのエンジン油によるデポジットを抑制するためにクライスラー社とサーベント社が共同で開発したベンチ試験 TEOST 33 をさらに厳格化した規格である³⁾。TEOST 33 は、GF-3 規格の際に TEOST MHT-4 に採って替わられた。GF-5 規格で TEOST 33C が追加された背景には、ターボチャージャーに市場トラブルが発生したクライスラー社の強い意向がある。しかしこれまでの検討結果から摩擦低減剤 (FM) として最も優れるモリブデンジチオカーバメイト (MoDTC) を添加したエンジン油では、TEOST 33C のデポジット要求に合格するのは難しいことが確認されている。これは、最高 500℃ に達する温度条件下で MoDTC が熱分解しデポジットするためと考えられている¹³⁾。現在国内自動車メーカーでは、ターボチャージャーのほとんどを水冷化しており実際の使用条件とかけ離れた TEOST 33C での評価に疑問を抱いていること、さらに省燃費性能を MoDTC 配合の低粘度グレード油に大きく依存していることから TEOST 33C の規格化に難色を示していた。最終的にターボエンジンには推奨されない低粘度の SAE 0W-20 グレードを除外するかたちで TEOST 33C が規格化された。

表 3 TEOST 33C 試験条件

試験時間	hours	24
油量	ml	100
送油量	g/min	0.45
サイクル温度	℃	200-500
空気流量	ml/min	3.5
ガス		Air, NO ₂
触媒		100ppm Naphthenic Iron

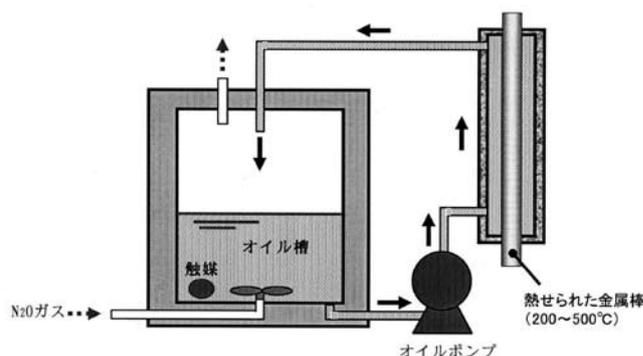


図 3 Thermo-oxidation Engine Oil Simulation Test (TEOST)

(3) 劣化油低温粘度 ROBO or Seq. III GA

GF-4 規格では、劣化油の低温粘度を Seq. III GA で規定していた。GF-5 規格では、ILSAC から Seq. III GA の代替案として新たに開発されたベンチ試験「ROBO」での評価が提案された。これを受けたオイルサプライヤー側では、実績のある Seq. III GA との選択を提案した。協議の結果、オイルサプライヤー側の意見が通り ROBO と Seq. III GA から評価法を選択できることになった。ROBO の試験条件を表 4 に示す。Seq. III GA および ROBO ともに劣化油の CCS 粘度が新油の粘度グレードの CCS 粘度より低い場合、MRV 粘度が新油と同じ粘度グレードに入ること、または劣化油の CCS 粘度が新油の粘度グレードの CCS 粘度より高い場合、MRV 粘度が新油の1つ上のグレードに入ることが規定されている¹⁴⁾。

表 4 ROBO の試験条件

試験油量	197g
触媒 (フェロセン+ Gr II 基油)	3g (Fe:15ppm)
NO ₂ 吹込み量	液化 NO ₂ 2mLを12hかけて吹き込む
乾燥空気吹込み量	185mL/min
攪拌回転数	200rpm
圧力	0.61Barr (18mmHg)
温度	170℃
試験時間	40h

(4) 乳化維持性

地球温暖化対策の1つとしてバイオ燃料にも対応できる代替燃料車 (Flexible Fuel Vehicle: FFV) が今後増加していくと考えられている。これらの車両は、無鉛ガソリン100%からE85と呼ばれる85%バイオエタノールと15%無鉛ガソリンの混合燃料および無鉛ガソリンとE85の混合燃料で走行可能である。E85を使用する場合の懸念点の1つに乳化維持性がある。E85などのバイオ燃料が燃焼した際には、水と酸性物質が生成する。生成した水と酸性物質による金属表面の腐食防止には、これらの物質をエンジン油中に取り込んでおく能力つまり乳化維持性が要求される。GF-5規格では、試験法としてASTM D7563が採用され¹⁵⁾、エンジン油に水を10%、E85を10%入れて攪拌したサンプルが、0℃・24時間後および25℃・24時間後に2層に分離しないことが規定された。

(5) シール材適合性

GF-4規格までは、統一したシール材適合性の規格がなく、各自動車メーカーが独自のシール材適合性の規格を持っていた。しかし一般に市販されているGF-4規格に合格したエンジン油の中には、シール材に適合していないものも存在し、油漏れなどのトラブルが発生した。そこでGF-5規格では、このようなトラブルを回避するために新たに規格化された。GF-5規格化に際しては、GMから4種類のシール材と評価項目が提案され、さらに新たなシール材1種類とその評価項目がフォードから提案され、規定された⁸⁾。

4. おわりに

新たに導入されるILSAC GF-5規格は、さらに深刻化している地球温暖化防止規制に対応すべく省燃費性能とその持続性の強化、大気汚染物質の排出ガス規制の強化にともなう排出ガス後処理装置の触媒被毒防止性の強化および市場トラブルを回避するための清浄性の厳格化が盛り込まれ、従来のGF-4規格よりさらにエンジン油に対する要求性能が厳しくなっている。これらの要求性能を満たすGF-5規格適合エンジン油は、GF-4規格に比較して粘度-温度特性を向上させる目的で高い粘度指数を示すGr III以上の高度精製基油を多く配合し、同様の目的で高い粘度指数を示す粘度指数向上剤を採用し、さらに酸化防止剤、無灰分散剤および金属系清浄剤が増量されると推定される。ただし、無灰分散剤の増量は、粘度-温度特性の悪化を招き省燃費性能を低下させるので、高度に配合をバランスさせる必要がある。

GF-5規格は、ガソリンエンジンのみで走行する自動車用ガソリンエンジン油を対象としているが、より厳格化された炭酸ガス排出規制および世界的な景気後退を回復させるために各国で実施されている経済政策の1つであるエコカー減税効果でガソリンエンジン・モーター・ハイブリッド車の普及が目覚ましい。現在ハイブリッド車は、日系自動

車メーカーが独占しているが、米国や欧州の自動車メーカーも次々に発表しており、次期ILSAC規格ではハイブリッド車に搭載されているエンジンに要求されるエンジン油性能が規定されると推察される。現状SAE J300粘度分類で最も低い粘度グレードは0W-20であるが、ハイブリッド車に搭載されるエンジンが発電用途に限定された場合には、さらに低い粘度グレードの規定が必要になると推察される。

— 引用文献 —

- 1) ILSAC, ILSAC GF-5 STANDARD FOR PASSENGER CAR ENGINE OILS, December 22, 2009
- 2) 矢口彰, ENEOS Technical Review・第46巻 第1号、26 (2004)
- 3) JAMA, JAMAGAZINE 12月号, (2008)
- 4) 加賀谷峰夫, 月刊トライボロジー, 12, 12 (2007)
- 5) 小宮健一, ENEOS Technical Review・第45巻 第3号、39 (2004)
- 6) SAE International, SURFACE VEHICLE STANDARDS, SEA J300, Jan (2009)
- 7) ASTM D7589, 09 Standard Test Method for Measurement of Effects of Automotive Engine Oils on Fuel Economy of Passenger Cars and Light-Duty Trucks in Sequence VID Spark Ignition Engine
- 8) インフィニウム社資料, (2009)
- 9) 竹島茂樹, 石油製品討論会, 102 (2006)
- 10) 八木下和宏, 他, 自動車技術会秋季学術講演会, 3.11 (2007)
- 11) ASTM D7320, 09a Standard Test Method for Evaluation of Automotive Engine Oils in the Sequence IIIG, Spark-Ignition Engine
- 12) ASTM D6335, 09 Standard Test Method for Determination of High Temperature Deposits by Thermo-Oxidation Engine Oil Simulation Test
- 13) S.Yoshida, et al, JSAE. 20077276, SAE2007-01-1962
- 14) ASTM D7528, 09 Standard Test Method for Bench Oxidation of Engine Oils by ROBO Apparatus
- 15) ASTM D7563, 10 Standard Test Method for Evaluation of the Ability of Engine Oil to Emulsify Water and Simulated Ed85 Fuel