

ILSAC GF-4対応0W-20ガソリンエンジンオイルの開発

Development of ILSAC GF-4 0W-20 Gasoline Engine Oil

佐藤 孝之*
Takayuki SATO

川内 昌司*
Syouji KAWAUCHI

要 旨

2004年7月31日から運用が開始される ILSAC エンジンオイル規格 GF-4に対応した 0W-20エンジンオイルを開発した。

GF-4規格ではオイル消費による排気デバイスの被毒抑制のためにオイル中へのリン・イオウの添加量上限値が規制されている。新開発のエンジンオイルは、懸案となる耐摩耗性能を向上するためにオイル添加剤処方の見直しをおこなっている。また、より高い省燃費性能要求に対応するために、動粘度と HTHS 粘度のエンジンモータリングフリクションへの寄与度を検証し、粘度指数向上剤の分子量を最適化した。

規格試験をおこない、本オイルが GF-4 に対応していることを検証した。

ABSTRACT

This paper describes the development of an 0W-20 engine oil meeting the ILSAC GF-4 engine oil standard which will go into effect from July 31st, 2004.

The GF-4 engine oil standard stipulates upper limits for phosphorus and sulfur content in oil to prevent poisoning the exhaust system components, but the new standard has generated concerns about the acceleration of wear of engine parts. Each additive in the newly developed has been selected to improve anti-wear performance. In addition, the contribution of kinematic viscosity and HTHS viscosity to engine motoring friction has been verified, and the molecular weight of the viscosity index improver has been optimized to achieve the higher fuel economy requirement in GF-4.

The newly developed engine oil was evaluated in GF-4 standard tests and was confirmed to meet GF-4 performance.

1. まえがき

近年、自動車への環境負荷低減要求は高まっており、エンジンオイルについても例外ではない。一般的な環境対応ハード技術は採用された新型車種のみにも効果をもたらすが、エンジンオイルの場合、環境対応ハード技術が反映されていない既販車においても効果を期待できるために、環境負荷低減の効果は大きい。Honda は燃費性能向上による環境負荷軽減にいち早く着目し、省燃費エンジンオイルの技術開発と市場導入を進めてきている^{(1), (2)}。

1994年から米国自動車メーカ(GM, Ford, Daimler-Chrysler)と日本自動車工業会(Japan Automobile Manufacturers Association: JAMA)は市場におけるオイル品質の維持・省燃費性能向上を目的として International Lubricant Standardization and Approval Committee

(ILSAC) 規格を発足し、Fig. 1に示すように米国のエミッション・燃費規制に同期するよう規格改定をおこなってきた。アメリカ環境保護局(Environment Protection Agency: EPA)は ILSAC 規格が改定されるごとにエンジンオイル使用に関するガイドラインを発行しており、2004年7月31日から導入される新規格 GF-4 は 2005年モデルから使用を許可している⁽³⁾。なお、新規格GF-4は現行規格GF-3 に対してエンジンオイル中のリン(Phosphorus)とイオウ(Sulfur)の元素量規制強化による排気デバイスの被毒防止性能(Catalyst compatibility)、酸化安定性能(High temperature oxidation stability)および省燃費性能(Fuel efficiency)を特に向上させていることが最大の変更点である⁽⁴⁾。Honda では EPA ガイドラインに則ってエンジンオイルを使用していることから、新規格に準拠したエンジンオイルを開発した。

* 栃木研究所

Model Year		94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	
US regulation	Federal Emission	Maskie Act				Tier1		LEV		Tier2						
						100k mile				120k mile						
	California					LEV1				LEV2						
						100k mile				120k mile						
	CAFE	LDV	27.5mpg													
	LDT	20.7mpg												21.0	21.6	22.2
Engine oil standard	ILSAC		GF-1			GF-2			GF-3			GF-4				
	API		SH			SJ			SL			SM				
	Catalyst compatibility	Phosphorus	0.12%max			0.10%max						0.06%min 0.08%max				
		Sulfur	Not required											0.5%max ¹ 0.7%max ²		
	High temp. oxidation	Test	Sequence III-E						Sequence III-F			Sequence III-G				
		W.P.D ³ Min. limit	Not required						4.0P			3.5P				
		Viscosity increase	375%max at 64hrs			64hrs max to 375%			275%max at 80hrs			150%max at 120hrs				
	Fuel efficiency	Test	Sequence VI			Sequence VI-A			Sequence VI-B							
Min. limit ⁴		2.7%			1.4% ⁵ Not required ⁶			2.0% ⁵ 1.7% ⁶			2.3% ⁵ 2.0% ⁶					

¹; 0W-20, 5W-20, 0W-30, 5W-30²; 10W-30³; Weighted Piston Deposit (Merit rating)⁴; 0W-20, 5W-20⁵; after 16hrs aging⁶; after 96hrs aging

Fig. 1 US emissions/FE regulations and engine oil standards

2. 開発のねらい

新規格 GF-4 対応エンジンオイル開発に際して以下の2点を主要なねらいとした。

(1) 油中元素量の規格適合

リン量 (0.06%以上, 0.08%以下)

イオウ量 (0.5%以下)

(2) 省燃費性能の向上

リンおよびイオウはエンジンオイルに使用される添加剤に含まれる元素であり、規格による上下限値規制は添加剤の処方(タイプ、量)を制限する。エンジンオイル中のリンおよびイオウ量について GF-3、GF-4規格規制値と GF-3 市場平均値の位置付けを Fig. 2 に示す。

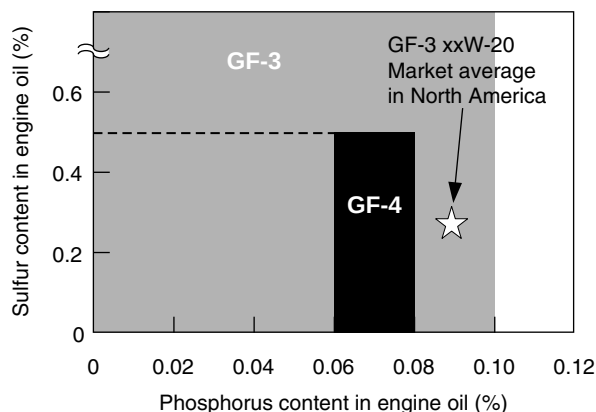


Fig. 2 Standard limits and xxW-20 market average for phosphorus and sulfur content in engine oil

各規制値に対し現行の処方ではイオウ量よりリン量の対応が優先度は高いことがわかる。本開発ではリン量の適正化、ついでイオウ量について検討し、省燃費性能の向上を図ることとした。

3. エンジンオイル仕様の検討

エンジンオイルへの基本的な要求性能は、減摩・冷却・密封・防錆・清浄・動力伝達を満たすよう基油(Base Oil: B/O)、添加剤(Detergent Inhibitors: DI)と粘度指数向上剤(Viscosity Index Improvers: VII)を選定し配合されており、これらを個別に検討した。

3.1. 基油

American Petroleum Institute(API)では基油の種類を五つのカテゴリー(Table 1)に分けている⁽⁵⁾。Gr.I から III は原油から蒸留精製されて得られる鉱油(Mineral oil)、Gr.IV、V は合成油(Synthetic oil)に類別され、さらに鉱油は含まれるイオウ量、飽和分(Saturate)の割合と粘度指数(Viscosity index)で細分されている。Honda では従来から Gr.III を採用しており本開発においても Gr.III を採用することとした。

Table 1 API base oil interchange guidelines

Base oil category	Sulfur [%]	Saturate [%]	Viscosity index
Gr.I	0.03 <	and/or < 90	80 to 120
Gr.II	≤ 0.03	and 90 ≤	80 to 120
Gr.III	≤ 0.03	and 90 ≤	120 ≤
Gr.IV	All polyalphaolefins (PAOs)		
Gr.V	All others not included in Gr.I,II,III or IV		

3.2. 添加剤

エンジンオイルに求められる基本性能を満たすために多様な添加剤が使用されている。各種添加剤の機能、代表物質およびリンとイオウの有無を Table 2 に示す。エンジンオイルでは、リンはイオウに比べると使用される添加剤の種類が限定されており、極圧剤(Extreme pressure agents)と酸化防止剤(Oxidation inhibitors)に存在する。現在は極圧剤のリン系(Phosphorustype)はほとんど使用されておらず、有機金属系のZnDTP (Zinc dithiophosphate)が極圧剤として性能・入手性からほぼすべてのエンジンオイルに使用されている。また、ZnDTPは酸化防止機能も有しており非常に優れた添加剤として知られている。今回の GF-4 規格対応にてリン添加量を低減することは ZnDTP の添加量を減らすことにほかならず、ZnDTPの機能を補完する手法を見出す必要がある。

まず、ZnDTP の主機能である摩耗防止性能について ZnDTP 添加量の影響を確認した。現行 GF-3規格に適合したエンジンオイルの油中リン量が動弁系カムノーズ摩

Table 2 Typical engine oil additives

Additive	Function	Typical chemicals	Phos-phorus	Sulfur
Extreme pressure agents	Anti-wear Anti-seizure	Organometallic compound type (Zinc dithiophosphate)	✓	✓
		Sulfur type		
		Phosphorus type	✓	
		Chlorine type		
Oxidation inhibitors	Chain reaction stop	Phenol type		
		Amine type		
	Peroxide decomposition	Organometallic compound type (Zinc dithiophosphate)	✓	✓
		Sulfur type		✓
Detergent-dispersant additives	Detergency	Sulfonate type		✓
		Salicylate type		
		Phenate type		
	Sludge dispersancy	Amin type		
		Imide type		
Friction modifiers	Friction reduction	Organometallic type		✓
		Ester type		
Viscosity index improvers	Viscosity adjustment	Polymethacrylate		
		Olefin copolymer		
Carrier oils	Solvent of additives	Mineral oil		✓
Others				

耗量に与える影響について摩擦調整剤(Friction modifiers: FM)であるMoDTC (Molybdenum dithiocarbamate)の有無を比較として実施した試験結果を Fig. 3, 試験条件を Table 3 に示す。

ZnDTPはその分解物と金属面が化学反応によりリン酸塩皮膜を生成することで摩耗・焼付を防止する⁽⁶⁾。MoDTCが添加された場合、ZnDTPと自身の分解によりしゅう動面に MoS_2 が生成され効果的な摩擦低減および摩耗・焼付防止性能を発揮するものと考えられている^{(7), (8)}。MoDTCとの併用により ZnDTP の低減による摩耗をある程度抑制することはできるものの摩耗量は上昇する傾向が確認された。しかしながら、MoDTC が添加された処方であれば摩耗については MoDTC の更なる有効活用により GF-4のリン量規制範囲内において現行と同等かそれ以上の性能を確保できると予測した。一方、清浄分散剤(Detergent-dispersant

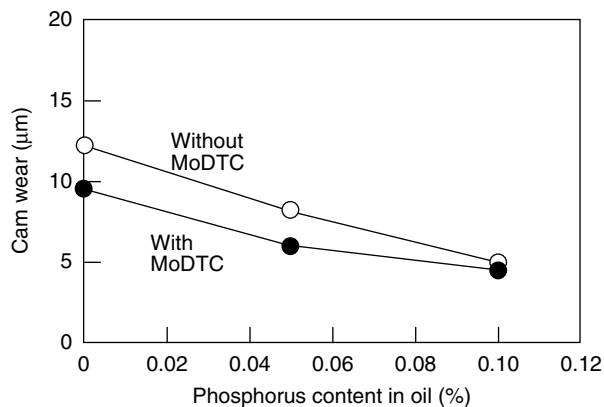


Fig. 3 Cam wear level in Honda valve train wear test

Table 3 Valve train wear test conditions

Engine	L4, 2.2L, MPI
Valve train	SOHC, 4valve, Slide-type
Engine speed [rpm]	2000 / 0
Oil temperature [°C]	90 - 95 / 20 - 30
Water temperature [°C]	80 - 90 / 15 - 25
Test duration [cycle]	300

Table 4 SRV test conditions

Pin	Diameter [mm]	15
	Length [mm]	22
	Material	DIN 100Cr6
Disk	Diameter [mm]	24
	Thickness [mm]	6.9
	Material	DIN 100Cr6
Temperature [°C]		80
Load [N]		200
Frequency [Hz]		50
Sliding distance [mm]		1.0
Test duration [min]		20

additives), 特に無灰系分散剤(Ashless dispersant)は、ZnDTP との間に相互作用があるため MoS_2 の生成にも影響を及ぼす。そこで、本開発では清浄分散剤の最適化をおこなうことでしゅう動面への MoS_2 の生成を増加させ、摩耗防止・摩擦低減を図った。現行 GF-3 仕様のオイル(Current GF-3)とその清浄分散剤を変更した試製オイル(Study oil)にてSchwingung Reibung Verschleiß(SRV)試験をおこなった^{(9), (10)}。試験条件を Table 4 に示す。Disk 試験片表面上のモリブデン化合物の結合エネルギーをX線光電子分光分析(X-rayPhotoelectronSpectrometer:XPS)にて測定し比較した結果を Fig. 4 に示す⁽¹¹⁾。

MoS_2 の結合エネルギー(229eV)は清浄分散剤を最適化することで GF-3 仕様のオイルより強いことが確認され表面上に生成される MoS_2 分子は多くなっているものと予測される。

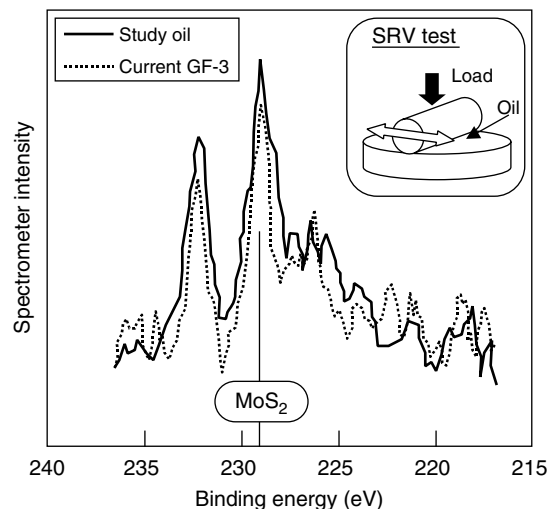


Fig. 4 XPS analysis in SRV test

3.3. 粘度指数向上剤

エンジンフリクションはしゅう動部における摩擦抵抗、流路抵抗・攪拌抵抗に大別され、前者は HTHS 粘度(High Temperature High Shear viscosity)、後者は動粘度(Kinematic viscosity)の影響が大きいと考えられる。エンジンオイルによる省燃費性を検討するにあたり、HTHS および動粘度のエンジンフリクションへの寄与度を検証した。なお、エンジンフリクションはモータリング時のものとし、頻度の高い走行状態のエンジン回転数を選定した。対象としたエンジン諸元を Table 5 に示す。

各粘度のエンジンフリクションへの寄与度は Fig. 5 に示すように 80℃以下では動粘度、80℃以上ではHTHS 粘度の影響が大きくなった。このことから効果的なエンジンフ

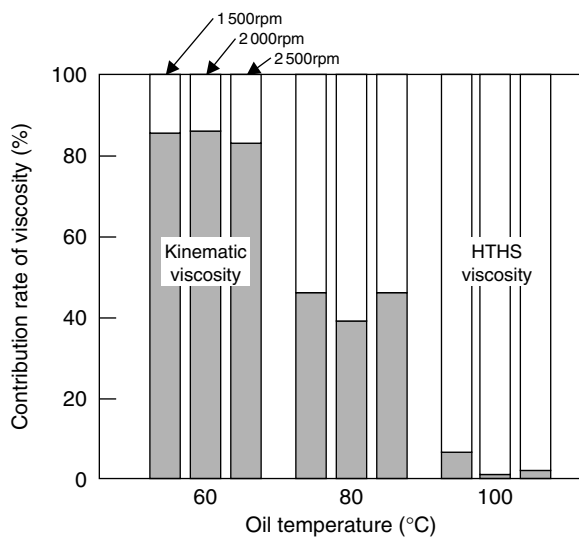


Fig. 5 Contribution of viscosity to engine motoring friction

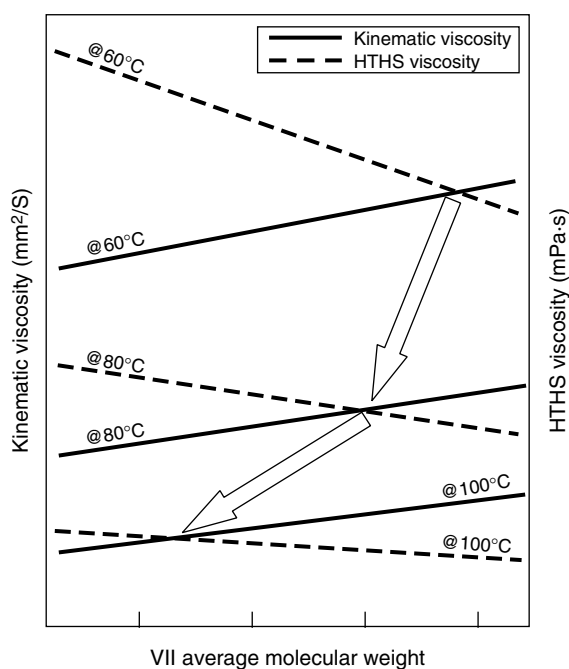


Fig. 6 Viscosity characteristic by VII molecular weight

Table 5 Test engine specifications

Engine	L4, 2.0L, MPI
Bore × Stroke [mm]	86.0 × 86.0
Valve train	DOHC, 4valve Roller-type rocker-arm Chain-driven
Compression ratio	9.7

リクション低減手法としては HTHS 粘度と動粘度の適度なバランスが必要であることがわかる。150℃におけるHTHS 粘度一定(2.6mPa·s)の下で、粘度指数向上剤の分子量を変えた際の 60, 80, 100℃における HTHS 粘度と動粘度を調べた。Fig. 6 に示すように HTHS 粘度と動粘度は相反する関係を持つことから最適な粘度設定が得られる分子量を選定した。

4. 性能確認結果

以上の検討結果から試製されたオイル(PrototypeGF-4oil)の性能を確認した。オイル仕様を Table 6 に示す。本論文では、リン量低減による懸案である酸化安定性、摩耗と省燃費性能について確認した結果を述べる。

4.1. 酸化安定性

高温に対するオイルの酸化安定度を Indiana Stirring Oxidation Test (ISOT) にて評価した。現行 GF-3 オイル(Current GF-3 oil)を比較油とした試験結果を Fig. 7 に、試

Table 6 Properties of test engine oil

		Current GF-3 oil	Prototype GF-4 oil
Formulation (DI)		A	B
Base oil		Gr.III	Gr.III
Viscosity grade		0W-20	0W-20
Kinematic viscosity [mm²/s]	40 [°C]	34.8	33.4
	100 [°C]	7.85	8.02
HTHS viscosity [mPa·s]	150 [°C]	2.6	2.6
Phosphorus [%]		0.10	0.08
Sulfur [%]		0.30	0.25
Viscosity index improver		PMA-A	PMA-B
Friction modifier		MoDTC-A	MoDTC-B

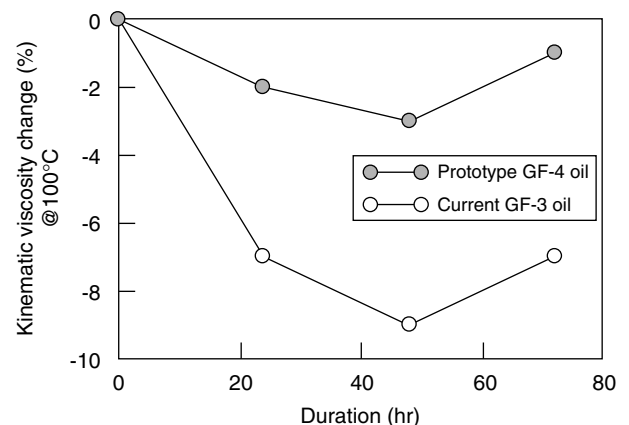


Fig. 7 Kinematic viscosity change in ISOT

Table 7 ISOT test conditions

Method	Based on JIS K 2514		
Oil volume [ml]	250		
Oil temperature [°C]	175		
Catalyst	Copper and Iron		
Test duration [hr]	24	48	72

試験条件を Table 7 に示す。Prototype GF-4 オイルは現行 GF-3 オイルと比較して高温酸化による粘度上昇を抑制していることがわかる。

4.2. 耐摩耗性

耐摩耗性については前述した Honda エンジンによる動弁系摩耗試験と GF-4 規格で規定されている Sequence IV-A 動弁系摩耗試験 (ASTM D 6891) により評価した。Honda エンジンによる動弁系摩耗試験結果を Fig. 8 に示す。試験条件は Table 3 と同じである。Sequence IV-A 動弁系摩耗試験結果を Fig. 9 に、試験条件を Table 8 に示す。いずれの試験においても Prototype GF-4 オイルは現行 GF-3 オイルに対し良好な結果を得た。

4.3. 省燃費性能

Honda で代表的なエンジンを搭載した車両による 10.15 モード燃費試験結果を Fig. 10 に、車両諸元を Table 9 に

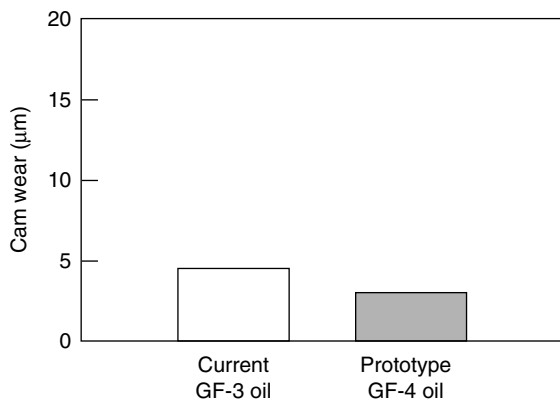


Fig. 8 Comparison of cam wear level in Honda valve train wear test

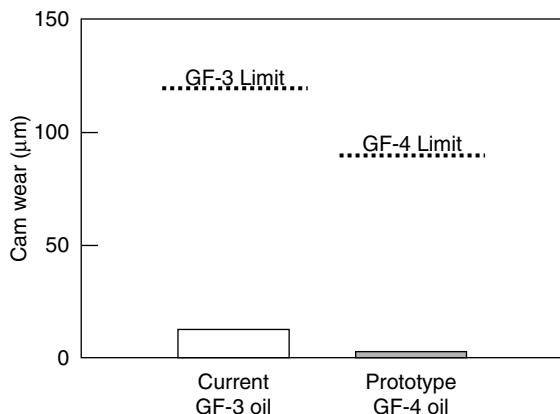


Fig. 9 Comparison of cam wear in Sequence IV-A

Table 8 Sequence IV-A test conditions

Engine	Nissan KA24E, L4, 2.4L	
Stage	I	II
Stage duration [min]	50	10
Engine speed [rpm]	800	1500
Engine torque [N·m]	25	25
Oil temperature [°C]	50	60
Water temperature [°C]	50	55
Test duration [cycle]	100	

Table 9 Japanese 10.15 mode test conditions

Engine	L4, 2.0L, MPI
Valve train	DOHC, 4valve, Roller-type
Vehicle	Domestic production model
Test mode	Japanese 10.15

Table 10 Sequence VI-B test conditions

Engine	Ford modular, V8, 4.6L	
Aging stage	I	II
Stage duration [hr]	16	80
Engine speed [rpm]	1500	2250
Engine power [kW]	15.39	23.10
Oil temperature [°C]	125	135
Water temperature [°C]	105	105

Test stage	1	2	3	4	5
Engine speed [rpm]	1500	800	800	1500	1500
Engine power [kW]	15.39	2.18	2.18	15.39	15.39
Oil temperature [°C]	125	105	70	70	45
Water temperature [°C]	105	95	60	60	45

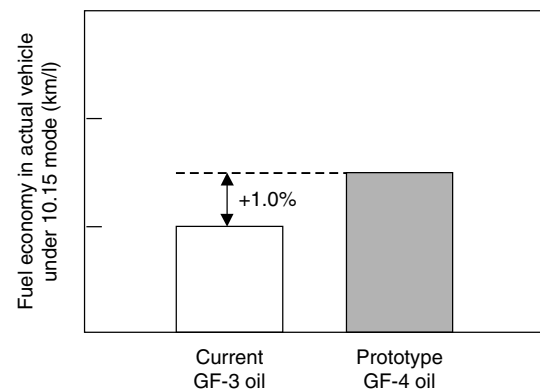


Fig. 10 Fuel economy improvement in Japanese 10.15 mode test

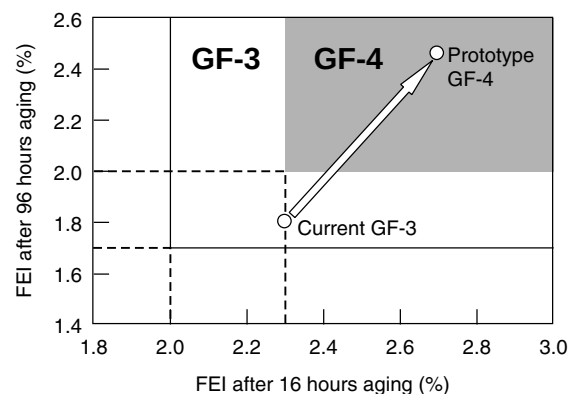


Fig. 11 Fuel economy improvement in Sequence VI-B

示す。また、GF-4規格で規定されている Sequence VI-B燃費試験(ASTM D 6837)による燃費改善率(Fuel Economy Improvement: FEI)を Fig. 11 に、試験条件を Table 10 に示す。いずれの試験においても現行 GF-3 オイルに対し Prototype GF-4オイルの燃費改善効果が認められた。また、GF-4 の 0W-20カテゴリにおける燃費改善率基準を満足することができた。

5. まとめ

新規格 GF-4に対応した 0W-20省燃費ガソリンエンジンオイルの開発を通じて以下の知見を得た。

- (1) 極圧剤 ZnDTP の補完として MoDTC と清浄分散剤の選定により摩耗を抑制することができた。
- (2) 動粘度と HTHS 粘度によるエンジンフリクションへの影響は温度によって異なり、フリクション低減を図るには粘度指数向上剤の分子量を最適化することが有効な手法であることがわかった。
- (3) 上記知見をもとに試製したオイルは GF-4 規格を満足するとともに、実車燃費を 1 %向上することができた。

参考文献

- (1) Tanaka,H., et al.: The Effect of 0W-20Low Viscosity Engine Oil on Fuel Economy, SAE 1999-01-3468(1999)
- (2) 佐藤孝之：ホンダにおける省燃費エンジンおよび省燃費ガソリンエンジンオイルの開発，出光興産トライボレビュー No.26, p.2-5(2003)
- (3) EnvironmentalProtectionAgency: Vehicle programsand compliance guidance letters, CCD-04-07(LDV/LDT/MDPV/HDV), <http://www.epa.gov/otaq/cert/dearmfr/ccd0407.pdf>
- (4) 矢口彰：ガソリンエンジン油新規格 ILSAC GF-4, ENEOS Technical Review Vol.46, No.1, 第245号, p.26-32(2004)
- (5) American Petroleum Institute: Technical Bulletin 15th Edition of API 1509, APPENDIX E(2002)
- (6) 日本潤滑学会編：表面損傷，改訂版 潤滑ハンドブック，東京，養賢堂，p.81-82(1987)
- (7) Miyashita,A., et al.: Lubricity Mechanism of Organo-Molybdenum-Compound, Proceedings of the InternationalTribology Conference, Nagasaki, p.15-20 (2000)
- (8) 村木正芳 他：ZnDTP 共存下における有機モリブデン化合物のすべり摩擦特性(第 1 報)，トライボロジスト，Vol.38, No.10, p.919-926(1993)
- (9) Hoshino,H., et al.: Fuel Efficiency of SAE 5W-20 friction Modified Gasoline Engine Oil, SAE 982506(1998)
- (10)Sagawa,T., et al.: Development of 0W-20LSAC GF-3 Gasoline Engine Oil, SAE 2002-01-1636(2002)
- (11)遠山護，他：低摩擦ガソリンエンジン油 —低粘度化と摩擦調整剤の効果—，豊田中央研究所 R&D レビュー，Vol.32, No.4, p.35-43(1997)

■ 著 者 ■



佐藤 孝之



川内 昌司