

高粘度指数ベース油を用いた自動車用作用油の研究

Development of Automotive Lubricants based on High Viscosity Index Base Stock

長 島 隆*	坂 勉*	佐々木 傳*
Takashi NAGASHIMA	Tsutomu SAKA	Tsuto SASAKI
大 森 生 雄*	古 本 光 正*	田 中 秀 樹*
Ikuo OHMORI	Mitsumasa FURUMOTO	Hideki TANAKA

要 旨

従来より、トランスミッション用フルード、パワーステアリングフルードと言った自動車用作用油において、低フリクション性能および低温粘度特性の改良要求は高い。

しかしながら、現行の鉱油系ベース油では技術的限界に至っており、合成油を用いてこの問題に対応しているが、コストが高いという問題がある。

今回低温特性に優れた鉱油系高粘度指数ベース油を用いた自動車用作用油の研究を行った。高粘度指数ベース油を用いた作用油では、従来の鉱油系ベース油に対し、低温粘度特性の改良（温度換算で約5～10℃の改良）とトランスミッションおよびパワーステアリングポンプフリクショントルクの低減効果約5%、更に約2.5倍の酸化寿命向上が得られた。

鉱油系高粘度指数ベース油は、自動車用作用油のベース油としてもポテンシャルの高いことを明らかにした。

ABSTRACT

It has long been sought to improve the low-friction properties and low-temperature viscosity characteristics of mineral oil based automotive manual transmission fluid, automatic transmission fluid, and power steering fluid. However, as it has been impossible to make such improvements on the mineral oil base, synthetic oils such as poly- α -olefin have been substituted to achieve the required improvements in the lubricants. However, they have a drawback: high cost. Thus a new series of mineral oil based lubricants has been investigated. These lubricants are made with high viscosity index mineral oil base stock that offers excellent low-temperature characteristics, which improve low-temperature viscosity (lowering of operation temperature by 5 to 10°C), and achieve a 5 % reduction of friction torque in manual/automatic transmissions and power steering pump, and 2.5 times improvement in oxidation resistance.

1. ま え が き

近年、地球環境問題対策が社会的にも注目されており、その中でCAFE(Corporate Average Fuel Economy)値の段階的規制強化が提案されている。その対応策の一つとして、潤滑油による燃費向上技術があり、省燃費効果に優れた潤滑油開発の要求が高まっている。

従来よりエンジン油の改良による省燃費化研究が行われてきたが、更なる燃費向上要求に対して、マニュアルトランスミッションフルード(MTF)、オートマチックトランスミッションフルード(ATF)、パワーステアリングフルード(PSF)の作用油においても、燃費向上効果が期

待されている。

既に、ホンダに於いても Fig. 1 に示すように、作用油の低粘度化の研究を行い、工場充填油に適用を図っている。しかしながら、粘度特性改良(低温粘度改良)要求を含めて、現行の鉱油系溶剤精製ベース油では、低温粘度特性の改良による高温粘度の低下やせん断による粘度低下等から改良は難しく、一部市場ではポリ- α -オレフィン(PAO)等の合成油を用い改良を行っている。しかし、合成油はコストが高いという問題があり、一般に普及していない状況である。

近年、水素化分解あるいはパラフィン異性化プロセス

* 栃木研究所

により鉱油系高粘度指数(高 VI:100 ニュートラルベース油にて粘度指数が120 以上)ベース油が製造されるようになってきた^{1)~6)}。

一般的に、高 VI ベース油は、高い粘度指数と優れた酸化安定性を持ち、粘度特性の改良および長寿命化にたいして有効な特性を有している。さらに、高 VI ベース油には低フリクション特性があり、これら作動油においても優れた燃費向上効果が期待される。

そこで、この高 VI ベース油を MTF、ATF、PSF へ適用検討し、フリクション低減効果、低温特性向上効果を確認し、かつ作動油の長寿命化等の品質向上も達成したので、それらの成果をあわせて報告する。

2. 高 VI ベース油のフリクション低減効果

作動油でのフリクション低減効果としては、低粘度化による攪拌抵抗の減少が考えられるが、高 VI ベース油は従来の溶剤精製ベース油に対して、部分的に金属接触が伴う弾性流体潤滑領域にて低摩擦係数を示すことが報告されており⁷⁾、この特性が作動油でも有効に活用できると考えられる。

そこで、この低フリクション特性が作動油でも十分発揮されるかを、Fig. 2 に示す摩擦摩耗試験装置を用いて

確認を行った。

本装置は、Chip-on-Disk タイプの試験装置であり、測定条件は、流体潤滑領域から部分的に金属接触を伴う弾性流体潤滑領域となるよう、荷重・周速を設定した。

評価を行ったベース油の性状を Table 1 に示す。溶剤精製ベース油と比較を行うために、溶剤精製ベース油で4種類、高 VI ベース油で2種類の、粘度グレードの異なるベース油を準備した。確認結果を横軸に粘度×速度÷荷重を取り、縦軸に摩擦係数で、整理し Fig. 3 に示す。

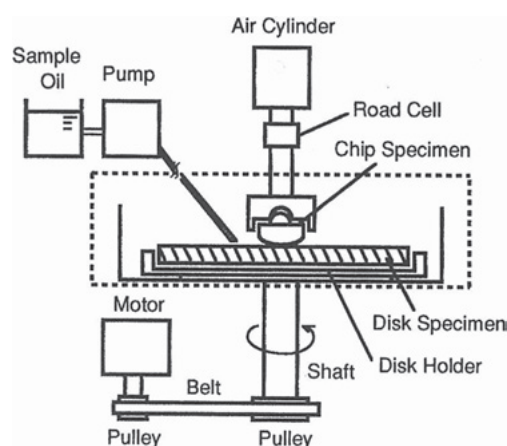


Fig. 2 Chip-on-Disk Type Friction Tester

Year		1980	85	90	95	2000
MTF	MAKET TREND	ENG. OIL、GEAR OIL、MTF、ATF				
	FACTORY FILL	API* SE 10W-30	MTF API SF SAE 30	MTF API SF SAE 10W-30	MTF	
	RESEARCH WORK	Shear Stability	Low-temperature Characteristics	Base Stock Research		
ATF	MAKET TREND	DEXRON IID			DEXRON IIE	DEXRON III
	FACTORY FILL	ATF(DEXRON Type) @-40℃ 50000mPa · s			ATF(DEXRON Type) @-40℃ 13000mPa · s	ATF
	RESEARCH WORK	Friction Characteristics	Low-temperature Characteristics	Base Stock Research		
PSF	MAKET TREND	DEXRON Type				
		PSF Type				
	FACTORY FILL	PSF @-40℃ 22000mPa · s			PSF @-40℃ 20000mPa · s	PSF
	RESEARCH WORK	Friction Characteristics			Base Stock Research	

*API:American Petroleum Institute

Fig. 1 History of Automotive Lubricants Research in HONDA

Table 1 Viscometric Properties of Base Stocks

	Solvent Refined				High VI	
	SR-1	SR-2	SR-3	SR-4	HVI-1	HVI-2
Kinematic Viscosity 100°C mm ² /s	2.25	4.22	6.40	8.83	2.56	4.28
Viscosity Index	83	99	101	100	107	120

この図から、高 VI ベース油の摩擦係数は、溶剤精製ベース油に比較して低い傾向を示していることがわかる。このように高 VI ベース油の低フリクション特性は、部分的に金属接触を伴う弾性流体潤滑領域でより効果が発揮されることが確認された。

3. 高 VI ベース油によるエンジン低温始動性向上効果

高 VI ベース油は、その高い粘度指数により高温粘度を従来と同一に設定して、低温粘度の改良が可能となる。そこで、各作動油ごとに 100°C 動粘度を現行油と同等にし、低温粘度特性を改良した作動油 (ATF、PSF) を試作し、低温始動時のエンジンフリクショントルクの低減効果を確認した。

低温始動テストに用いた各作動油は、後述する高 VI ATF および高 VI PSF である。

低温始動性テストは、2.2L、4 気筒、OHC エンジンを搭載した車で、-25°C での始動時のエンジンフリク

ショントルクをクランキング時のスタータ電流値から求めた。

高 VI 作動油と溶剤精製作動油のフリクショントルクの比較を Fig. 4 に示す。この図から明らかなように低温粘度特性を改良した高 VI 作動油で、約 10% の始動フリクショントルクの低減が図れた。このように、高 VI ベース油を ATF、PSF に適用し、低温粘度を改良することで低温始動性の向上が図れ、始動系部品のサイズダウンおよびコストダウンが可能となる。この効果は、今後の作動油として必要な特性であり、フリクション低減効果と合わせて非常に有用なベース油である。

4. 高 VI ベース油の各作動油への適用検討結果

4.1. マニュアルトランスミッションフルードへの適用検討

(1) フリクション低減効果

MTF においても、低粘度化により攪拌抵抗の低減から、省燃費につながると考えられる。

そこで、高 VI MTF のフリクショントルク低減効果について、5 速手動変速機を用いて、単体モータリング試験を行った。試験条件は、油温 40°C、シフト 5 速固定の無負荷状態で、回転数に対する攪拌抵抗変化を測定した。

テストに用いた MTF の性状を Table 2 に、参考としてテストした市販ギヤオイルの性状も示す。

測定結果を Fig. 5 に示す。この図から明らかなように、高 VI MTF は、溶剤精製 MTF に比較して車速 60km/h

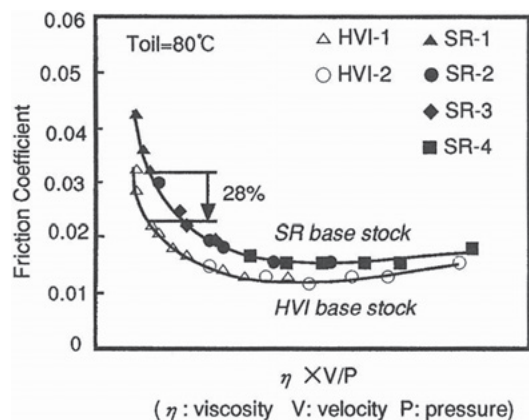


Fig. 3 Friction Coefficient of HVI and SR Base Stock

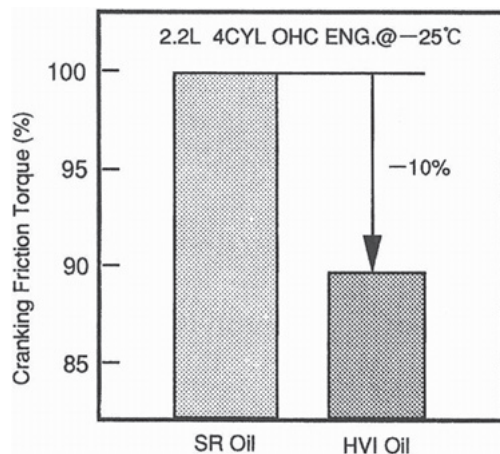


Fig. 4 Cranking Friction of HVI ATF and PSF

Table 2 Viscometric Properties of Test MTFs

		HVI base MTF	Current MTF	SAE80W-90	SAE75W-90
Kinematic Viscosity mm^2/s	40°C	52.76	69.32	77.88	76.07
	100°C	10.86	12.14	13.78	14.45
Viscosity Index		208	174	183	199
Low Temp. Viscosity (BF*) $\text{MPa}\cdot\text{s}$	-20°C	1950	3350	4680	3101

*Brook Field

相当の回転数 1740rpm で、約 6.2% の撹拌抵抗低減効果が確認できた。

次に、同じ 5 速手動変速機を用いて、単体モータリン

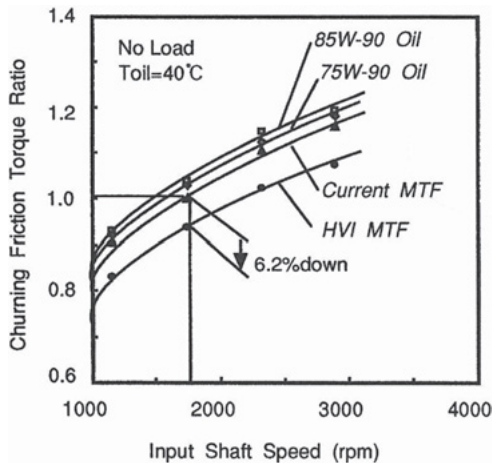


Fig. 5 Transmission Motoring Friction Characteristic

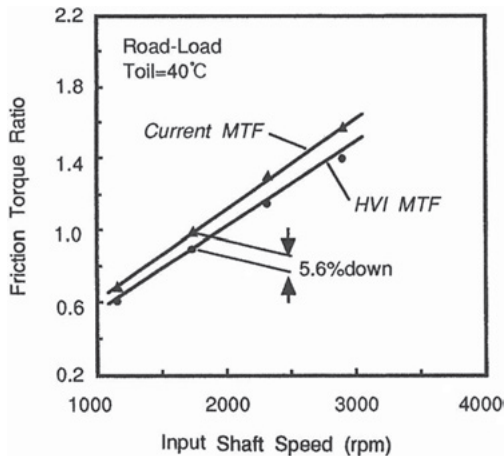


Fig. 6 Friction Characteristic of HVI and Current MTF

グ・トルク試験を行った。試験条件として、油温 40°C、シフト 5 速固定で走行抵抗相当の負荷を与え、回転数に対するトルク損失変化の測定を行った。

測定結果を Fig. 6 に示す。この図から明らかなように、溶剤精製 MTF に比較して高 VI MTF のトルク損失低減効果は、車速 60km/h 相当の回転数 1740rpm で、約 5.6% のトルク損失が低減する。

以上のことより、単体での高 VI ベース油の低フリクション特性が手動変速機においても確認できた。このように高 VI ベース油の優れた低フリクション特性は、手動変速機にて使われているギヤ歯面での潤滑領域でも十分発揮されることが明確になり、作動油での省燃費性能向上にとって有用なベース油であると考ええる。

(2) 低温シフトフィーリングの向上効果

手動変速機においては、低温域での粘度増加による撹拌・回転抵抗の増加によるシフト操作荷重の増大という問題がある。そこで、高 VI ベース油による低温粘度の改良による低温シフトフィーリングの向上効果について、実車試験を 2.0L、4 シリンダ、OHC、5 速手動変速機にて行った。特に粘度の影響が大きい 1 速のシフト操作荷重について、車速一定で、2 速から 1 速へのシフト操作荷重の油温に対する変化を測定した。結果を Fig. 7 に示す。高 VI MTF は、溶剤精製 MTF に比較して、0°C 以下の低温域において、約 20% のシフト操作荷重低減効果が確認できた。

(3) 長寿命化の検討結果

最近のエンジンの高出力・高回転化に伴い手動変速機の油温が上昇傾向にあり、MTF の耐熱性向上による長寿命化の要求が強くなっている。高度に精製された高 VI ベース油は酸化安定性に優れ、高 VI MTF は、高 VI ベー

ス油と各種添加剤の最適配合により、溶剤精製 MTF に比較し、耐熱寿命の向上を可能とする。Fig. 8 にインデアナスターリング酸化試験法で行った酸化安定性試験結果を示す。高 VI MTF は、油温 150℃ で比較すると、約 150% の長寿命化が確認できた。これも、高 VI ベース油の特性による効果であり、このように長寿命化に対しても優れた性能を有したベース油であることが実証された。

MTF に対しても省燃費性能などの要求が強まっており、さらに低粘度化の検討が進んでいる。しかし、高温時の耐久性との両立が課題である。今回検討した高 VI ベース油の MTF への適用は、優れた省燃費性能、低温

シフトフィーリングの向上、さらに長寿命化が達成でき、高温粘度を現行と同等にすることができると期待される。高 VI ATF のフリクション低減効果について、自動変速機を用いた単体モータリング試験を行い確認した。

4.2. オートマチックトランスミッションフルードの検討

(1) フリクション低減効果の確認

ATF においても、低粘度化により攪拌抵抗の低減によるフリクション低減効果が期待される。高 VI ATF のフリクション低減効果について、自動変速機を用いた単体モータリング試験を行い確認した。

試験条件は、4 速、2000rpm の無負荷状態でいい、油温に対するフリクショントルクを測定した。テストに用いた ATF の性状を Table 3 に、測定結果を Fig. 9 に示す。高 VI ATF は、現行 ATF に比較して、フリクション低減効果が認められた。このように自動変速機においても、低粘度化によるフリクション低減効果が得られることより、実車の燃費向上に寄与できることが推測される。

(2) 低温粘度特性の改良

高 VI ベース油は高温粘度を現行と同等にし、 -40°C 粘度の改良が可能となった。Table 3 に示すように -40°C にて $7000\text{MPa}\cdot\text{s}$ 以下の低粘度化が可能となり、低温引きずり特性の改善、エンジン低温始動性の向上などの効果が得られる。高 VI ATF は現行 ATF に対して、高温粘度を同等にし、低温粘度特性の改良が可能であり、

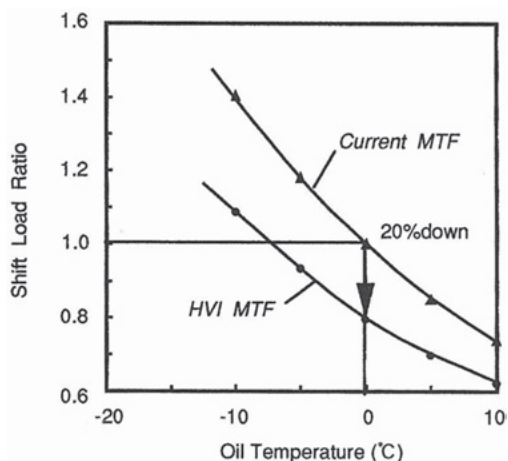


Fig. 7 Shift Load Reduction Characteristic

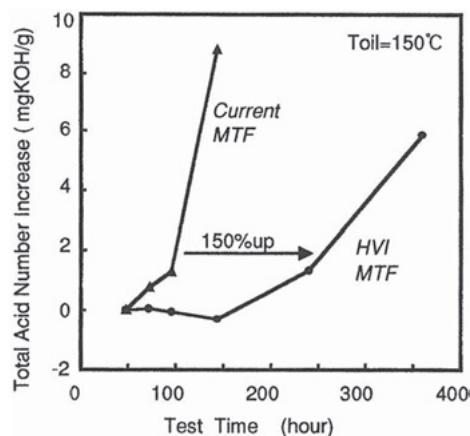


Fig. 8 Influence of Different Base Stocks on Oxidation Stability

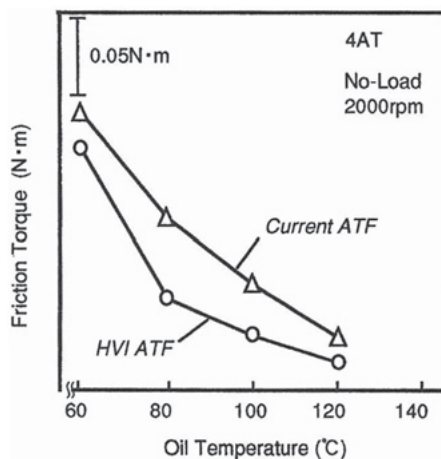


Fig. 9 Transmission Motoring Friction Characteristic

Table 3 Viscometric Properties of Test ATFs

		HVI ATF	Current ATF
Kinematic Viscosity mm ² /s	40°C	29.89	32.66
	100°C	7.361	7.383
Viscosity Index		228	203
Low Temp. Viscosity(BF)	MPa·s -40°C	6820	9800

自動変速機のフリクション低減および低温特性の改良が達成でき、優れた性能であることが証明された。

4.3. パワーステアリングフルードの検討

(1) フリクション低減効果

PSFにおいても低粘度化を行うことによりパワーステアリングフリクションが低減するか確認を行った。今回高 VI ベース油を用いて試作した高 VI PSF と現行の PSF、参考として市販 PSF の性状を Table 4 に示す。高 VI ベース油を用いることにより 70°C 以上の高温域において現行 PSF と同等以上の粘度特性を確保しながら中低温 70°C 以下の低粘度化を図った。この高 VI PSF のフリクション低減効果について、パワーステアリングポンプを用いて単体試験にて確認した。油温を変化させ、ポンプ出口圧 0.98MPa、回転数 2000rpm 固定で、現行 PSF および高 VI PSF の油温～ポンプトルク損失を Fig. 10 に示す。高 VI PSF は現行の PSF と比較して、約 7.2% のトルク低減を達成した。FM (Friction Modifier) 剤として

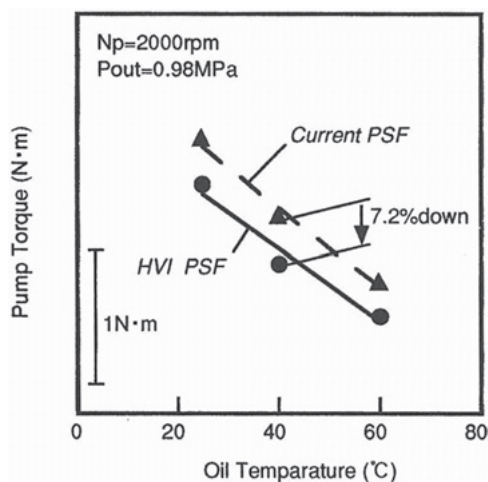


Fig. 10 Pump Torque Characteristic

は、ポンプの低騒音化と低フリクション効果の寿命維持も同時に狙った最適 FM 剤を配合した。

Fig. 11 は、ベンチ耐久前後の摩擦係数変化を Tip-on-Ring タイプ摩擦試験機 (LFW-1 試験機) で評価した結果を示す。高 VI PSF は、摩擦係数の変化が少なく耐劣化性が優れていることがわかる。

(2) 低温ポンプ特性

パワーステアリングにおいて低温時の粘度増加にともなう数々の問題が生じる場合がある。その一つとして、エンジン始動直後のパワーステアリングシステム圧力についてテストを行った結果を Fig. 12 に示す。図は、温度

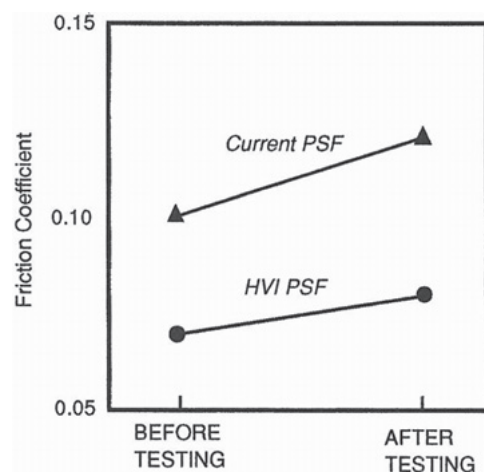


Fig. 11 Pump Durability

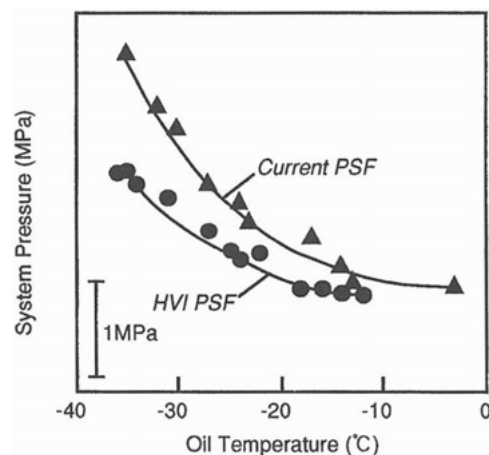


Fig. 12 Pressure of Power Steering System

Table 4 Viscometric Properties of Test PSFs

		HVI PSF	Current PSF	PSF-A**	PSF-B**
Kinematic Viscosity	100°C mm ² /s	12.99	12.3	7.817	7.576
	70°C mm ² /s	22.97	22.5	14.17	15.26
Viscosity Index		280	248	165	157
Low Temp. Viscosity(BF*)	-40°C MPa·s	8460	22000	35900	41700
*Brook Field **Commercial PSF					

を変化させエンジン始動直後のパワーステアリングシステム圧力(リターン系圧力)を計測した結果である。高 VI PSF は、現行の PSF に比較して - 40°C 時に約 40~50% の圧力低減を達成した。

現行 PSF は寒冷地区での使用に対して専用油を設定する場合もあるが、今回の高 VI PSF を用いることにより寒冷地専用油を設定する必要もなく、かつ耐高温性も優れた PSF の開発ができた。このように高 VI ベース油は、PSF に対しても優れた性能を有していることが実証された。

5. 作動油による燃費向上効果

高 VI ベース油を用いた作動油によるフリクション低減効果について述べてきたが、最後に実車を用いたモード燃費テストで燃費向上効果を確認した。テストは、2.2L、4気筒、OHC エンジンを搭載した車で行い、EPA 燃費測定モードにて行った。なお、今回のテストにおい

ては、エンジン油も高 VI ベース油を用いた SH エンジン油を使用している。テストの結果を Fig. 13 に示す。高 VI 作動油は現行の作動油の組み合わせに比較して、手動変速車で 0.2%、自動変速車で 0.8% の燃費向上効果が得られた。このように、作動油においても優れたベース油との組み合わせにより、省燃費効果が得られることが確認された。

6. まとめ

鉱油系高 VI ベース油を用いた MTF、ATF、PSF の作動油について、各々のフリクション低減効果、低温特性の改良効果および燃費向上効果を確認した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 高 VI ベース油は従来の溶剤精製ベース油に比較して摩擦係数が低く、高 VI 作動油は現行の作動油に比較し、約 5% のフリクションが低減した。
- (2) 高 VI ベース油は、その優れた粘度特性により低温での低粘度化が達成でき、エンジン始動フリクショントルクの 10% 低減効果が得られた。
- (3) 作動油によるフリクション低減効果により実車での燃費向上効果(手動変速車で約 0.2%、自動変速車で約 0.8%)が確認できた。

謝 辞

本研究にあたり作動油の試作でご協力下さった、日本石油(株)中央技術研究所および出光興産(株)営業研究所の関係方々に深く感謝の意を表します。

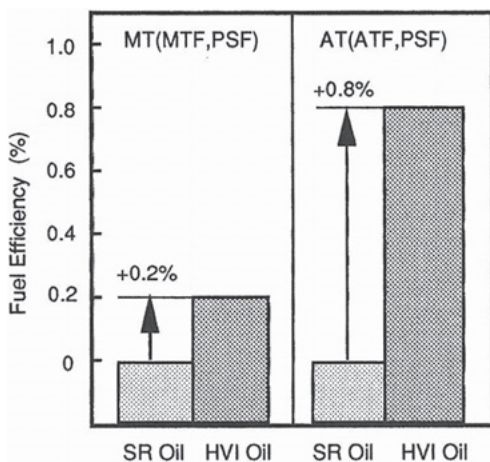


Fig. 13 Fuel Efficiency Increase

参考文献

- 1) A. Billon, M. Derrien, J. C. Lavergne: Manufacturing New Base Oils by the I.F.P. Hydrotreating Process, 34th Mid-Year A.P.I. Meeting, Proceedings, pp.38-49. (1969)
- 2) J. Denis, J. C. Lavergne, G. Pace: Better Multigrade Oils From High-Viscosity Index Hydrotreated Stocks, 34th Mid-Year A.P.I. Meeting, Div. Refining, Proceedings, pp.50-69. (1969)
- 3) K. Cashmore, M. Moyle, P. J. Sullivan: Hydrotreated Lube Oil Base Stocks, SAE Paper 821235, Fuels and Lubricants Meeting, Toronto, Canada. (1982)
- 4) F. Breimer, H. I. Wareman, A.B.R. Weber: Hydroisomerization of Paraffin Wax, J. Inst. Petrol., Vol. 43 pp.297-306 (1957)
- 5) H. M. J. Bijward, W. K. J. Bremer, P. V. Doorne: The Shell Hybrid Process, an Optimized Route for HVI Lube Oil Manufacture, Petroleum Refining Conference of Japan Petroleum Institute, pp.16-17 (1986)
- 6) M. Ushio, K. Kamiya, T. Yoshida, I. Honjou: Production of High VI Base Oil by VGO Deep Hydrocracking, Symposium on Processing, Characterization and Application of Lubricant Base Oils, American Chemical Society, Proceedings, pp.1293-1302 (1992)
- 7) J. Igarashi, M. Kagaya, T. Nagashima, T. Satoh: High Viscosity Index Petroleum Base Stocks - The High Potential Base Stocks for Fuel Economy Automotive Lubricants, SAE Paper 920659.

■著 者■



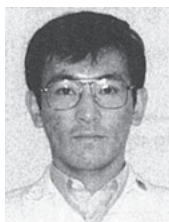
長 島 隆



坂



佐々木 傳



大森 生雄



古本 光正



田中 秀樹