

低フリクション マニュアルトランスミッションフルードの開発

Development of Low-friction Manual Transmission Fluid

斉 藤 進*
Susumu SAITOU
川 内 昌 司*
Syouji KAWAUCHI

鈴 木 純 弥*
Junya SUZUKI
内 野 雄 之*
Takeshi UCHINO

岩 崎 徹*
Toru IWASAKI

要 旨

従来より、燃費向上技術として自動車用動油の低粘度化がおこなわれている。特にマニュアルトランスミッションフルード(以下、MTF)においては低温時のシフトフィーリング向上という商品性の向上効果も期待され、潤滑油の低粘度化に関するさまざまな研究がおこなわれてきた。

本研究では、MTFの構成要素である基油の配合および粘度指数向上剤(VII)の最適化をおこない、潤滑油の低粘度化を図る際に課題となる高油温時の耐久性を低下させることなく、低温時の低粘度化を図った。その結果、現行油に対し温度換算で10℃分の低フリクション化と低温シフトフィーリングの向上効果を確認し、高油温側についても現行油と同等の耐久性を有していることを確認した。

ABSTRACT

Efforts have been made for some time to lower the viscosity of automotive lubricants as a way to improve fuel economy. Manual transmission fluid (MTF) in particular is expected to increase product appeal by enhancing shift feel at low temperatures. Various studies have also been conducted to lower the viscosity of lubricating oil.

The authors of this study optimized the base oil blend and Viscosity Index Improvers (VII), which are the constituent elements of MTF, with the objective of reducing viscosity at low temperatures without lowering durability at high oil temperatures, which is an issue when attempting to lower the lubricating oil viscosity. The results confirmed that the new oil reduces friction in terms of temperature conversion by 10°C, compared to that of the current oil, and effectively enhances shift feel at low temperatures. The developed oil was also confirmed to have durability equivalent to that of the current oil, even at high oil temperatures.

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る中、CO₂削減に向けた自動車の燃費向上が重要な課題になっており、駆動系潤滑油における省燃費性能の改良要求は高まっている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。また、マニュアルトランスミッション(MT)においては、低温域での粘度増加に伴うかくはん・回転抵抗の増加によるシフト荷重の増加や2段入り感等、シフトフィーリングの低下という問題があり、MTFの低フリクション性能が求められている。

これに対し、Honda でも高粘度指数(HVI)鉱油を用いた低粘度 MTF を開発し 1994 年以降より量産化してきたが、近年の多段化、シンクロのマルチコーン化によるフリク

ション要素の増加によりさらなる低フリクション MTF のニーズが高まっていた。一般的に、トランスミッションのフリクション低減には潤滑油の低粘度化が有効な手段であるが、油の粘度を極端に下げると高油温時の耐久性が問題となる^{(4), (5)}。

本開発では、基油の配合および VII の最適化をおこなうことで、高油温時の耐久性を確保しつつ、低温時の低粘度化が可能となる MTF の研究をおこなったので報告する。

2. 開発のねらい

MTF の低フリクション化に当たり、本開発では MT としての機能と耐久性を主眼に以下の開発目標を定めた。

*四輪開発センター

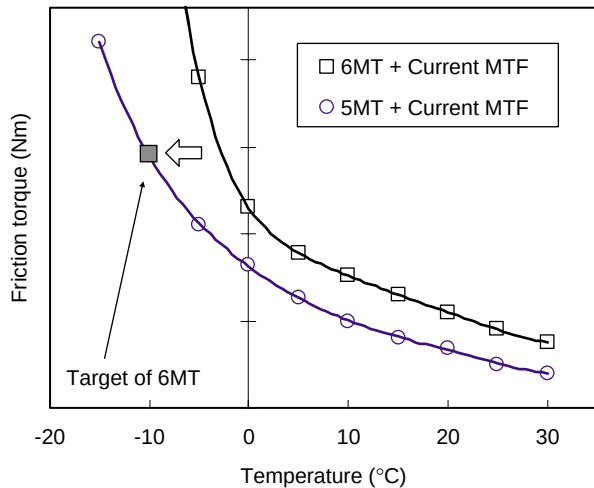


Fig. 1 Characteristic of MT friction torque

(1) 低温シフトフィーリングの向上

油温 -10°C において現行油の 0°C と同等のシフトフィーリングを開発目標とした。これは、Fig. 1に示すように、フリクション要素の多い6速 MT にて、フリクション要素の少ない5速 MT と同等のシフトフィーリングを達成するために必要なフリクション低減量が、 0°C 以下の低温域にて 10°C 弱あることより設定した。

(2) トランスミッション機能と耐久性の確保

ギヤ、ベアリングの耐久性、および MT 特有であるシンクロナイザの機能と耐久性について、現行油と同等の性能を確保することを開発目標とした。

3. 達成手法

MTの機能と耐久性の開発目標から MTF の目標を Table 1 に示すように設定し、基油および VII の検討をおこなうことにした。

3.1. 基油および VII の設定

基油の種類としては大きく合成油と鉱物油の2種類に分類される。そのうち同じ基油粘度で比べた場合、合成油の方が鉱油に比べ粘度指数が高いことが知られている。さらに合成油の中にはエステル系や鉱油と同様の構造を有するポリ- α -オレフィン(PAO)等の代表的なものがある。そのうち、エステル系はゴム材部品に対する影響や性能添加剤の溶解性などの問題があるため、既販車に対しての適用まで考えると困難であることから、まず、基油については PAO で検討をおこなうこととした。VII については分子量の高いタイプと分子量の低いタイプの2種類を用い検討をおこなった。

Table 2 に示すように基油と VII の組み合わせを変えて試作油を調整し、温度目標に入る仕様を検討した。試作油の温度特性結果を Fig. 2 に示す。目標の粘度エリアには C の仕様が入った。B と D の仕様については、いずれも低分子量

Table 1 MTF development target

Properties	MTF development target
Low-temperature viscosity (-10°C)	Equal to current MTF kinematic viscosity at 0°C
High-temperature viscosity (100°C)	Equal to current MTF kinematic viscosity at 100°C
Shear stability	Equal to current MTF

Table 2 Formulation of tested oil

Test oil	Base oil	Viscosity Index Improvers (VII)
Current MTF	Mineral oil High-viscosity	Low molecular weight type
A	PAO High-viscosity	High molecular weight type
B	PAO High-viscosity	Low molecular weight type
C	PAO Low-viscosity	High molecular weight type
D	PAO Low-viscosity	Low molecular weight type

タイプの VII を用いたものであり、B は低温の粘度が大きく目標値をはずれてしまった。D については低温粘度の目標値は入っているが、高温側の粘度が低下した。A はいずれの目標も満足できなかった。

上記仕様について同様にせん断安定性の確認をおこなった。せん断試験の前後による粘度の変化率を Fig. 3 に示す。せん断試験は超音波試験にておこなった。せん断に対する目標に入った仕様は D のみであった。Fig. 2 で粘度目標を満足した C については、目標値を満足できず、粘度変化が最も大きかった。B と A についても目標値は満足することができなかった。試験結果よりせん断による粘度変化が大きい A と C は高分子量タイプの VII を用いた仕様であり、低分子量タイプの VII を用いることで粘度低下を少なくすることが可能であることがわかった。駆動系の潤滑機能から考えた場合、MTF として経時的な粘度変化が少ない方が性能

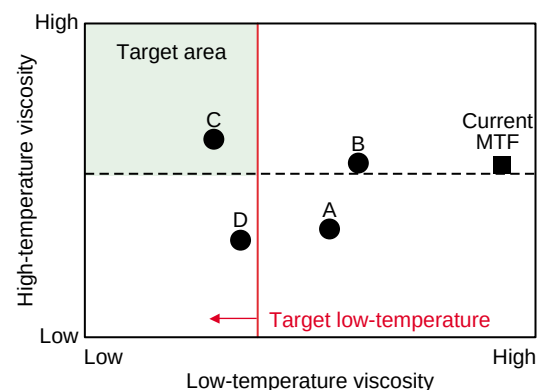


Fig. 2 Viscosity characteristics of tested oil

維持の観点で好ましいため、今回の仕様設定は低分子量タイプの VII を用いることとした。

以上の検討結果より、せん断による粘度変化も含めた目標標エリアを満足する仕様は不可能であり、低温粘度の目標を達成するには低粘度の基油を適用する必要と共に 100℃の動粘度を当初の目標に対し低減する必要があることがわかった。MTFの高温側の開発目標は現行と同等の耐久性を持つことであることから、低粘度基油と低分子量の VII をベースに 100℃の動粘度を低下させても耐久性が落ちない手法を検討することとした。また、Fig. 4に示すように低粘度の基油を用いる場合、鉱油の中にもPAOに匹敵する粘度指数を有する HVI 鉱油が存在する。入手性やコストなども踏まえ、基油については鉱油で検討をおこなうこととした。

3.2. 高温耐久性目標設定

高温側の開発目標を現行同等の耐久性を維持することとしたが、高温側の動粘度低下に伴う懸案としてはギヤやベアリング等の疲労寿命の低下が挙げられる。従って今回は耐久性の評価方法をギヤ疲労寿命で評価することとした。

3.3. ギヤ疲労寿命メカニズム

ギヤの損傷形態の一つにピッチングがあり、耐久寿命評価としてピッチング発生寿命がある。ピッチングの発生メ

カニズムは諸説あるが、油浸入説⁽⁶⁾では Fig. 5 に示すように微小な凹凸を持つ二つのギヤが噛み合うことにより、2面間に閉じた系を持つ油溜まりが発生する。その際、ギヤ表面に存在する微小クラックのき裂部分にオイルが浸入し、ギヤが噛み合った際に発生する高圧油圧によりき裂が進展し最終的に表面剥離すなわちピッチングとなる。

従ってこのピッチング寿命を延ばすためには油膜を介在させ、金属接触を相対的に減らし微小クラックの進展を抑制することが重要であると考えパラメータスタディーをおこなうこととした。

3.4. ギヤ耐久性開発検討

ギヤの耐久性を確保するために、基油の粘度による影響、高粘度基油配合による影響について確認をおこなった。

ギヤ耐久性は Fig. 6 に示す IAE ギヤ試験機を用い、ピッチングが発生するまでの時間で耐久性を評価することにした。ギヤのテストピース(T/P)については Table 3 に示すように実機の諸元を参考に専用の T/P を作成した。

(1) 基油粘度による影響

単一グレードの HVI 鉱油仕様で基油粘度を変えて製品

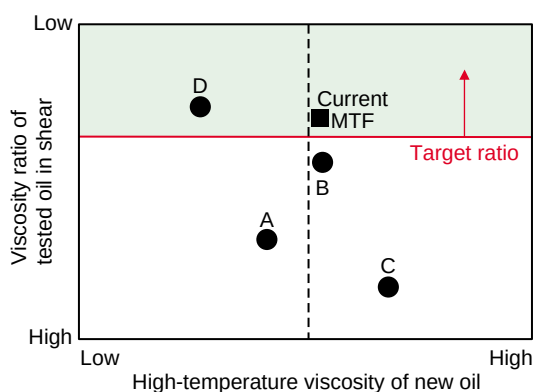


Fig. 3 Viscosity decrease after shear test

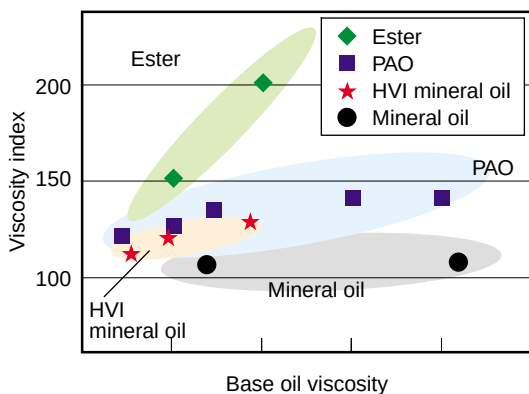


Fig. 4 Viscosity index characteristics with differences in base oil viscosity

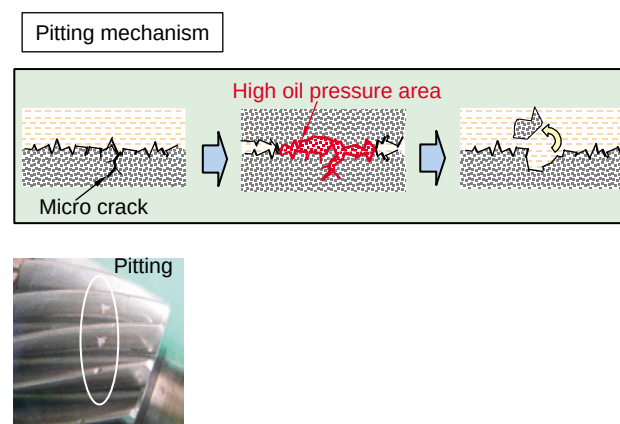


Fig. 5 Mechanism of pitting on gear

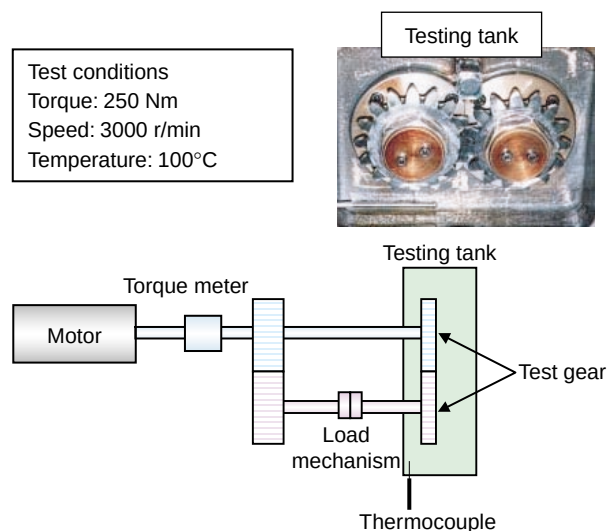


Fig. 6 IAE gear tester and durability test conditions

Table 3 Test piece specifications for durability test

	Current T/P	New T/P
Number of teeth drive/driven	15/16	30/32
Module	5.00	2.65
Face width (mm)	5.2	12.7
Material	SNCM415	SCr420
Heat treatment	Carburizing	Carburizing
Tooth surface finishing	Grinding	Shaving
Tooth surface PV (N/mm ² ·m/s)	9660	11900

の動粘度をそろえた試作油 E, F, G についてギヤの耐久性を確認した結果, 基油粘度が高いほどギヤの耐久寿命が延びることがわかった(Fig. 7).

(2) 高粘度基油配合による影響

高粘度の基油を配合し, 基油粘度, 製品の動粘度それぞれを HVI 鉱油 100% の試作油 G とそろえた試作油 H でギヤの耐久寿命を確認した結果, 高粘度の基油を配合した試作油 H の方がピッチングに対する寿命が延びた(Fig. 7).

この高粘度基油配合手法は, 広く経験的に知られているものである. しかしそのメカニズムに関してはさまざまな報告がなされており^{(7), (8)}, 実際はさまざまな条件によりそれら複数の事象が複雑に絡み合っていると考えられるが, Fig. 8 に示すように高粘度基油の立体構造により油膜が確保されることすべりを伴う 2 面間の微小部の接触回数が相対的に減じるためと考えている.

以上の検討結果より, 基油粘度は低温粘度を満足する可能な限り高い値に設定しつつ高粘度基油を配合することで耐久性の維持可能な設定とした.

3.5. 開発 MTF 高温耐久性確認結果

前記の検討結果から決定した低粘度 MTF 仕様的高温耐久性を現行 MTF と比較し確認した. その結果を Fig. 9 に示す. 開発 MTF は現行 MTF のピッチング発生寿命に対し同等の寿命を有し, 低粘度化しても現行油同等の耐久寿命が得られた.

また, トランスミッションを用いた台上耐久終了後に回収した MTF についても同様にギヤの耐久試験をおこなった結果, 現行劣化油寿命対比 1.5 倍となり, 耐久後においても現行油同等以上であることが確認できた.

以上より開発 MTF は低粘度化してもギヤの耐久性に影響を与えずに油膜を確保した仕様であることが確認できた.

4. トランスミッション実機検証結果

4.1. フリクション低減効果

低粘度化により, トランスミッション内のかくはん抵抗

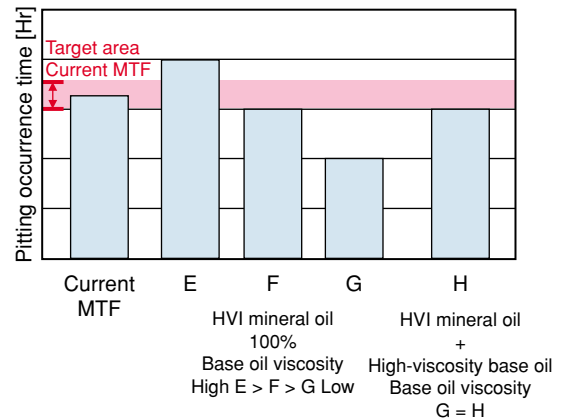
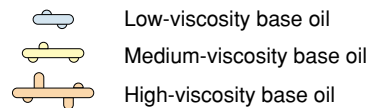


Fig. 7 Pitting durability characteristics by different oil specifications

Molecular structure image



Oil film performance

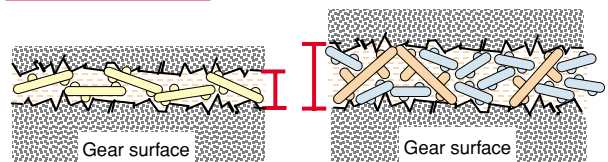


Fig. 8 Mechanism of oil film performance enhancement

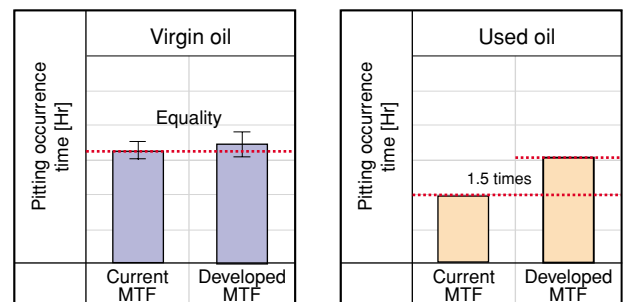


Fig. 9 Comparison of pitting durability by MTF

が低減されることで, フリクショントルクの低減が期待できる.

開発油の低粘度化による低温時フリクション低減効果について, 小型車クラスの 6 速 MT を用いて, 単体モータリング試験にて確認した. 試験条件は, 車速 25 km/h, 無負荷, ニュートラル状態にて, トランスミッション油温に対するフリクショントルク変化を測定した. 測定結果を Fig. 10 に示す. 開発油は現行油に比較して, フリクショントルクで 28% 低減され, 油温では約 10℃ 分のフリクション低減効果が確認できた.

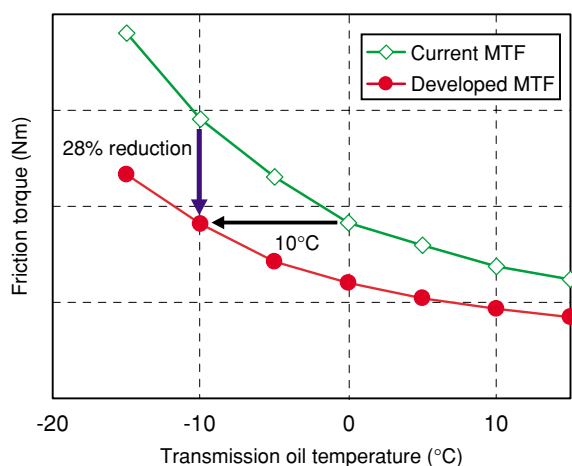


Fig. 10 Comparison of transmission friction torque

4.2. シフトフィーリング向上効果

MT において、低温域での粘度増加によるフリクショントルクの増加は、2 段入りフィーリングの低下、シフト操作荷重の増加を招き、シフトフィーリングを損ねる要因となっている。

開発油の低粘度化によるシフトフィーリング向上効果について、小型車クラスの 6 速 MT 車にて確認した。試験条件は、車速 20 km/h に固定し、1 速から 2 速へ変速時の 2 段入り荷重、および 2 速から 1 速へ変速時のシフト操作荷重を測定した。

その結果、開発油は現行油に対し、0°C における 2 段入り荷重で 18% 低減、シフト操作荷重で 15% 低減され、油温ではともに約 10°C 分の低減効果が確認できた。

4.3. 高温時の耐久性

潤滑油の低粘度化を図る際に課題となる高温時の耐久性に関しては、前述のギヤ単体評価の他にトランスミッションを用いた実機耐久評価をおこない、ギヤ、ベアリングの金属疲労寿命においても現行油同等以上または社内基準を満足し、実使用において十分な耐久性を有していることを確認済みである。

また、MT 特有の重要な構成要素であるシンクロナイズリングに関しても、同期性能および摩耗性に与える影響についても現行油と同等であることが確認された。

5. まとめ

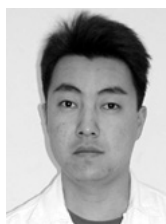
- (1) 高粘度基油と低粘度基油の配合および VII の最適化により、高温時の耐久性を確保しつつ、低温時の低粘度化が達成できた。
- (2) その結果、0°C におけるフリクショントルク低減効果、およびシフトフィーリング向上効果は、現行油に対し温度換算にて約 10°C 分あることが確認できた。
- (3) 低粘度化を図る際に課題となる高温時の耐久性は、単

体および実機での試験結果より、現行油と同等の性能を維持することが確認できた。

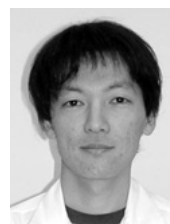
参考文献

- (1) 長島隆, 坂勉, 佐々木博, 大森生雄, 古本光正, 田中秀樹: 高粘度指数ベース油を用いた自動車用自動油の開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.7, p.123-130
- (2) 田中秀樹, 長島隆, 佐藤孝之, 川内昌司: 0W-20 低粘度エンジンオイルの省燃費効果, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.2, p.143-148
- (3) 山根伴紀, 長島隆, 吉田潤平, 平尾泰生: 長寿命 CVT フルードの開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No.2, p.153-158
- (4) Ito, M., Kurosawa, O., Matsuoka, T., Matsui, S.: The Evaluation of the Fuel-Economy Performance of Low-Viscosity Drive-Train Lubricants and the Development of Oils with Improved Fatigue Life, Powertrain & Fluid Systems, 2004-01-3029(2004)
- (5) 松井茂樹: 省燃費 ATF の研究動向, ENEOS Technical Review, 第 47 巻, 第 1 号, p.24-29(2005)
- (6) 中島晃: Effects of Lubricating Oil on Rolling Contact Fatigue Damages, トライボロジスト, 第 48 巻, 第 10 号, p.789-795(2003)
- (7) Hirano, F.: Effect of molecular weight distribution of mineral oil on tribofailure of spur gears, American Society of Mechanical Engineers(1980)
- (8) Murakami, T., Sasaki, T., Yamamoto, Y.: Effect of Molecular Weight Distribution of Mineral Oils on Lubricating Performance under Sliding Contact Conditions, JSLE INTERNATIONAL TRIBOLOGY CONFERENCE(1985)

■著 者■



斉藤 進



鈴木 純弥



岩崎 徹



川内 昌司



内野 雄之