

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

遠山護, 大森俊英, 筒井治, 山本匡吾

Low Friction Gasoline Engine Oil Effects of Lower Viscosity and Friction Modifiers

Mamoru Tohyama, Toshihide Ohmori, Osamu Tsutsui, Masago Yamamoto

要 旨

ガソリンエンジン油による低摩擦化の手法としては、低粘度化と摩擦調整剤 (FM) の配合が挙げられる。低粘度化は、粘性抵抗の低減に有効であるものの、油膜厚さの減少につながるため、摩耗の増加を招くことが考えられる。FMに関しては、境界摩擦の低減に有効であるものの、種類によって効果が異なるため、その選定が重要となる。本報は、低摩擦特性と摩耗防止性を両立した低摩擦油の設計指針を得ることを目的に、低粘度化の限界を見極め、更に最適なFMの選定を行った結果をまとめたものである。

ラジオアイソトープトレーサ法を用いたエンジン試験により、摩耗に及ぼす低粘度化の影響を検

討した。それによって、摩耗防止性を考慮した低粘度化の下限は、HTHS粘度で $2.6\text{mPa}\cdot\text{s}$ にあることを見出した。動弁系の摩擦低減ならびに台上燃費試験によって、最適なFMとしてMoDTCを選定した。その摩擦低減作用は、しゅう動面における MoS_2 の生成および平滑化に起因すると推察された。

一連の検討結果から、現状のエンジンを基準においた場合、低摩擦油の設計指針は、HTHS粘度を $2.6\text{mPa}\cdot\text{s}$ にすること、ならびにMoDTCを配合することにあると結論づけられた。こうした提示は新たなエンジン油の開発設計に反映され、自動車の燃費向上につながっている。

Abstract

Lowering the viscosity of engine oil is effective in reducing the fluid friction. However, it decreases the oil film thickness, and causes the increase in the wear of engine parts. Through the engine wear tests using an radioisotope tracer technique, it was clarified that an HTHS viscosity of $2.6\text{ mPa}\cdot\text{s}$ was the lower limit to prevent the increasing wear. It was also found that the influence of the lowering viscosity on the wear of piston rings was larger than that on the wear of the cams and connecting rod bearings.

Addition of friction modifiers is effective in reducing the friction under boundary lubricating conditions. MoDTC was determined as an excellent

friction modifier, after evaluating its effects on the friction of valve train and on the fuel consumption of engine. The effect of MoDTC on the friction reduction was considered to be caused by both of the MoS_2 film formed and the rubbing surface smoothness that decreased the metal contact.

From the results of these investigations, it was concluded that the points of designing low friction engine oil were lowering the HTHS viscosity to $2.6\text{ mPa}\cdot\text{s}$ and the addition of MoDTC. Based on this guideline, a low friction engine oil has been developed, and it contributes to the improving fuel consumption of automobiles.

キーワード

低摩擦, 摩耗, エンジン油, 低粘度, 摩擦調整剤, RI

1. はじめに

環境保護と省資源化の観点から自動車の燃費向上が切望されており、摩擦損失の低減は重要な課題となっている。そのため、潤滑油に対しても低摩擦特性が強く求められている。ガソリンエンジン油による低摩擦化の手法としては、低粘度化と摩擦調整剤 (Friction Modifier; 以下, FMと略記) の配合が挙げられる。

低粘度化は、流体潤滑域での粘性抵抗の低減に有効である¹⁾。エンジンの摩擦損失のうち、ピストン部および軸受部における流体潤滑の占める割合は大きい²⁾。そのため、低粘度化には、エンジンの摩擦低減に対して、大きな効果が期待できる。しかし、過度の低粘度化は、しゅう動部において油膜厚さの減少およびそれに伴う摩耗の増大を招くことが予想される。したがって、摩耗防止性の観点から低粘度化には下限が存在すると考えられ、その見極めが重要となる。

FMは、しゅう動面に有機吸着膜もしくは無機反応被膜を形成することによって、境界摩擦を低減する添加剤である³⁾。したがって、FMの配合は、境界摩擦が主体の動弁系での摩擦低減に有効である。このFMに関しては、摩擦低減のみならず摩耗防止にも有効であるとの報告がなされている⁴⁾。FMの配合によって低粘度化に伴う摩耗の増加を抑制することができれば、更なる低粘度化を通じた低摩擦化が可能になると考えられる。

このような背景のもと、当所において、低摩擦ガソリンエンジン油の設計指針を得ることを目的に、摩耗に及ぼす低粘度化の影響ならびに摩擦・摩耗に及ぼすFM配合の影響を検討した。

2. 摩耗に及ぼす低粘度化の影響

摩耗防止性の観点から、低粘度化の下限を明らかにするべく、エンジン各 부품の摩耗に及ぼす高温高せん断 (HTHS; 油温150°C, せん断速度 10^6s^{-1}) 粘度の影響を検討した^{5, 6)}。ここでは、粘度の影響に焦点を絞るため、FMを配合していない試料油での検討を行った。

試験には自動車用ガソリンエンジンを用い、ラジオアイソトープ (RI) トレーサ法⁷⁾により、フ

アイリング条件下での摩耗計測を実施した。RIトレーサ法には、試験ごとにエンジンを分解する必要がなく、分解・組付けによるばらつきを生じないこと、感度が高く摩耗量を短時間で計測できるため、幅広い運転条件での摩耗計測を容易にできることなどの特長がある。

2. 1 RIトレーサ法を用いたエンジン摩耗試験
摩耗計測部位は、ピストントップリングのしゅう動面、インテークカムシャフトのカムノーズ面、コンロッド大端ベアリングのしゅう動面とした。サイクロトロンを用いて、ピストントップリング (以下, リングと略記) およびカムノーズ (以下, カムと略記) にはプロトンを、コンロッドベアリング (以下, ベアリングと略記) にはヘリウムイオンを照射することにより、表面層のみ放射化 (薄層放射化) した。生成した主要核種は、それぞれ ^{51}Cr (リング), ^{56}Co (カム) および ^{22}Na (ベアリング) である。

リングおよびカムに関しては、潤滑経路をシリンダーヘッド側とシリンダーブロック側とを分離することによって、摩耗計測を同時に実施した⁵⁾。ベアリングについては、通常の潤滑経路の状態で見計測した⁶⁾。

一例として、リングおよびカムの摩耗同時計測システムの概要をFig. 1に示す。放射化した部品

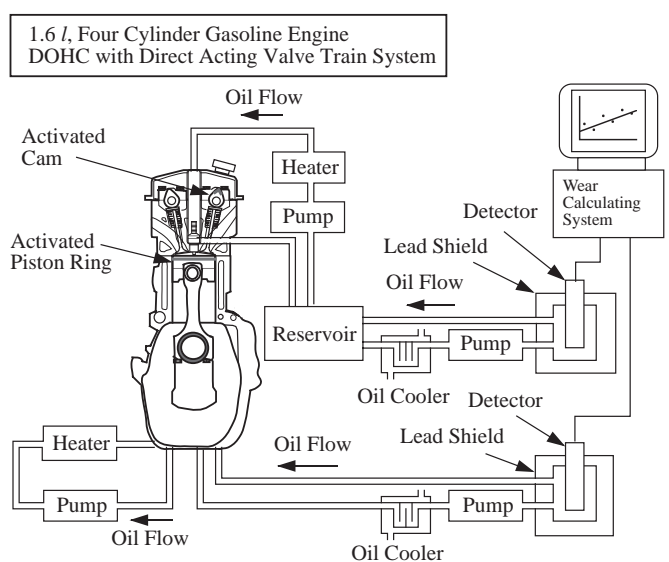


Fig. 1 Wear measurement systems for piston rings and cam faces with RI tracer technique.

を組付けて運転することによって、放射能を帯びた摩耗粉が潤滑油中に混入・蓄積してくる。この潤滑油の放射能強度を計測することで、摩耗量を算出した。

リングおよびベアリングへ供給する油の温度は、メインギャラリー部で制御した。カム部については、シリンダーヘッドの入口で制御した。設定油温に関しては、一般的な走行条件を想定した90°Cと、過酷な走行条件を想定した130°Cの2つの条件とした。冷却水温はシリンダーヘッドの出口部で90°C一定とした。なお、いずれの運転条件でも、全負荷で試験を行った。

2.2 低粘度油の調製

HTHS粘度が異なる試作エンジン油を調製し、試験に供した。試料油の粘度特性および組成をTable 1に示す。摩耗防止剤、清浄分散剤および酸化防止剤の配合量は各試料油において同一であり、基油の粘度および粘度指数向上剤の配合量が異なる。

2.3 ピストンリングの摩耗に及ぼす影響

油温90°Cおよび130°Cにおけるリングの摩耗に及ぼす粘度の影響をそれぞれFig. 2およびFig. 3に示す。摩耗量のばらつきは、試験を通じて $\pm 3\mu\text{g}/(\text{h}\cdot\text{本})$ であった。

リングの摩耗量は、油温130°Cでは、高回転域で多くなる傾向にある。これは、高回転の運転条件では、単位時間当たりのしゅう動距離が長くなること、およびしゅう動部の温度が高くなることに起因すると考えられる。ただし、油温90°Cでは、全体的に摩耗量が少なく、有意な傾向は認められない。

油温90°Cでは、HTHS粘度を3.1mPa・sから

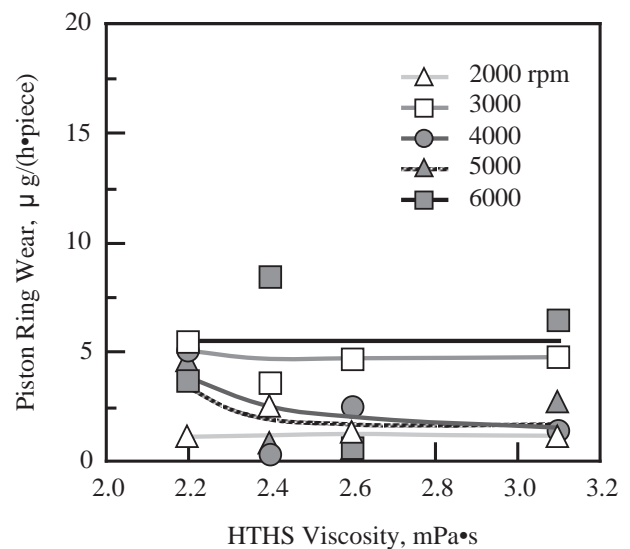


Fig. 2 Influence of engine oil viscosity on piston ring wear (oil temperature: 90°C).

Table 1 Viscosities and compositions of experimental oils.

	Without FM (2.2)	Without FM (2.4)	Without FM (2.6)	Without FM (3.1)
HTHS viscosity, mPa · s	2.2	2.4	2.6	3.1
High shear rate viscosity, mPa · s (10^6s^{-1})	@90°C	5.8	6.2	7.4
	@130°C	2.9	3.1	3.5
SAE-viscosity grade	-	-	5W-20	10W-30
Base oil	70N	70N	100N	150N
VII (polymethacrylate), mass%	3.0	3.8	2.3	3.0
Anti-wear additive / Anti-oxidant (sec.-ZnDTP), mass%	1.05			
Anti-oxidant (phenol type), mass%	0.5			
Anti-oxidant (amine type), mass%	1.0			
Detergent (Ca-sulfonate), mass%	0.5			
Dispersant (succinimide), mass%	8.0			

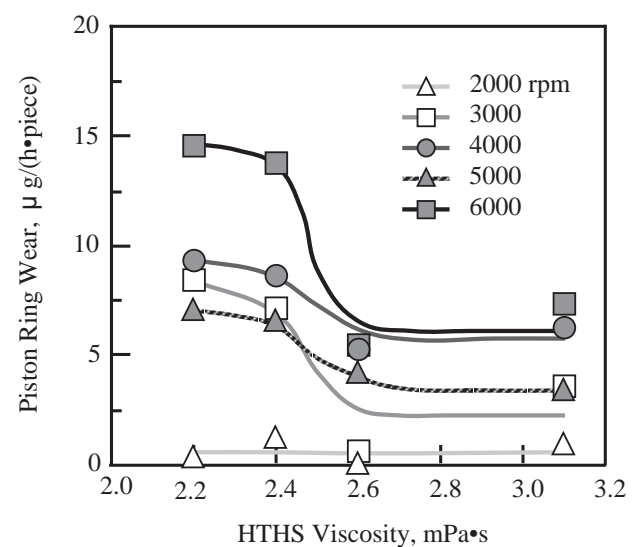


Fig. 3 Influence of engine oil viscosity on piston ring wear (oil temperature: 130°C).

2.2 mPa・sまで下げても、摩耗量に有意な差は認められない。しかし、130°Cでは、2.6mPa・sまでは3.1mPa・sの場合と同等の摩耗量が維持されているが、2.4mPa・s以下になると摩耗量が増加している。低粘度化に伴う摩耗の増加割合は、6000rpmで特に大きい。このような高油温かつ高回転の条件においては、供給油温の高さに燃焼ガスの影響が加わって、トップリング近傍では極めて高温となり^{8,9)}、潤滑油の実効粘度は大きく低下していることが予想される。こういった厳しい条件において、粘度の影響が現れやすかったものと推察される。

2.4 カムの摩耗に及ぼす影響

油温90°Cおよび130°Cにおけるカムの摩耗に及ぼす粘度の影響をそれぞれFig. 4およびFig. 5に示す。摩耗量のばらつきは、試験を通じて $\pm 1\mu\text{g}/(\text{h}\cdot\text{面})$ であった。

カムの摩耗量は、リングの場合と異なり、低回転域において多い。カム シム間では、すべり速度の低下に伴い、くさび作用が減少し油膜が薄くなる。したがって、低回転域においてカムの摩耗量が多いのは、単位時間当たりのしゅう動距離が減少する影響に比べて、油膜が薄くなる影響が大きいと考えられる。

油温90°Cではリングの場合と同様に、HTHS粘

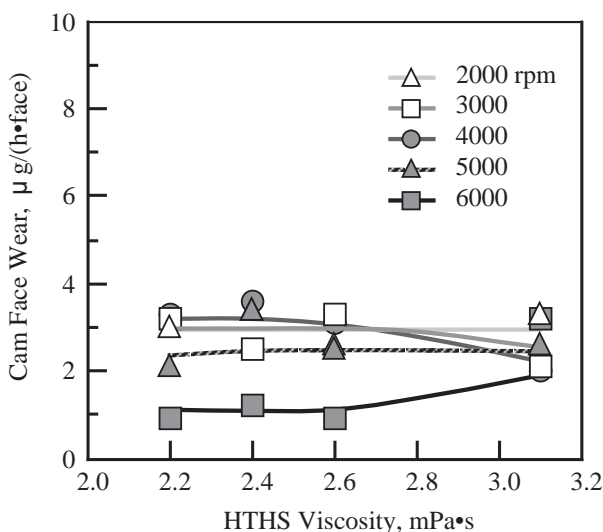


Fig. 4 Influence of engine oil viscosity on cam face wear (oil temperature: 90°C).

度を2.2mPa・sまで下げても、摩耗の増加は認められない。それに対して、130°Cにおいては、2.6mPa・sでは3.1mPa・sと同等であるが、2.4mPa・s以下に下げると、全般的に摩耗の増加を生じている。ただし、その増加割合は、Fig. 3に示した高回転時のリングの場合に比べて小さい。これはカムでは、リングに比べて燃焼の影響が小さく、しゅう動部付近の温度が比較的低いためと考えられる。

2.5 コンロッドベアリングの摩耗に及ぼす影響

油温90°Cおよび130°Cにおけるベアリングの摩耗に及ぼす粘度の影響をそれぞれFig. 6およびFig. 7に示す。摩耗量のばらつきは、試験を通じて $\pm 5\mu\text{g}/(\text{h}\cdot\text{枚})$ であった。

ベアリングの摩耗量は高回転域において多い。これは、回転数の増加に伴い、単位時間当たりのしゅう動距離の増加に起因すると推察される。

ベアリングでは、油温90°Cおよび130°Cの両条件において、HTHS粘度を3.1mPa・sから2.2mPa・sまで下げても、摩耗の増加は特に認められない。ベアリングでは、粘度を下げても摩耗に及ぼす影響は少ないと考えられる。

2.6 FM非配合油での低粘度化の下限

摩耗に及ぼす低粘度化の影響はリングおよびカムにおいて認められ、HTHS粘度2.4mPa・s以下に

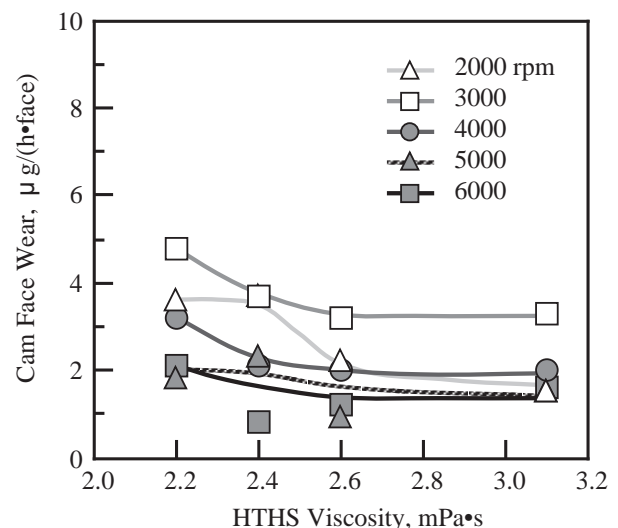


Fig. 5 Influence of engine oil viscosity on cam face wear (oil temperature: 130°C).

において摩耗の増加を生じた。したがって、摩耗防止性の観点から、FM非配合油を用いた場合の低粘度化の下限値は、HTHS粘度で $2.6\text{mPa}\cdot\text{s}$ と判断される。また、更なる低粘度化を実現するためには、低粘度化に伴うリングおよびカムの摩耗の増加を抑制する必要があると考えられる。

3. 摩耗および摩擦に及ぼすFM配合の影響

エンジン油の摩耗防止剤として広く用いられているジアルキルジチオリン酸亜鉛（以下、ZnDTPと略記）は、その分子内に含まれるリンが排気浄化触媒の性能を低下させることもあるため、配合量が制限されている¹⁰⁾。したがって、摩耗防止性向上のために、ZnDTPを増量することはできない。

一方、摩擦低減を目的に配合されるFMに関して、摩擦低減のみならず摩耗防止作用を示すことが報告されており⁴⁾、FMの配合による摩耗防止性の向上が期待される。そこで、低粘度化に伴う摩耗の増加が認められた油温 130°C 条件におけるリングおよびカムの摩耗に及ぼすFMの影響について、RIエンジン摩耗試験によって検討した⁶⁾。試験には、前章で述べた試料油（FM非配合油）にFMを配合したものを試料油として供した。FMとしてはジアルキルジチオカルバミン酸モリブデ

ン（以下、MoDTCと略記）、エステルおよび両者を組み合わせて用いた。

3.1 ピストンリングおよびカムの摩耗に及ぼす影響

リングの摩耗に及ぼすFMの影響をFig. 8に示す。HTHS粘度 $2.4\text{mPa}\cdot\text{s}$ において、MoDTCおよびMoDTC・エステル配合油ともに、FM非配合油と同等の摩耗量となっており、その値は $2.6\text{mPa}\cdot\text{s}$ の場合に比べて大きい。したがって、リングにおいては、FMの配合によって低粘度化に伴う摩耗の増加を抑制することはできないと判断される。

リングの摩耗防止に対してFMの効果を得られない要因のひとつとして、リング摩耗が主に生じる上死点付近では $200\sim 250^\circ\text{C}$ の高温条件にさらされ^{8,9)}、FMが熱分解および酸化され¹¹⁾有効に作用しなくなることが考えられる。しかし、その詳細については不明であり、今後検討すべき課題と考えられる。

カムの摩耗に及ぼすFMの影響をFig. 9に示す。HTHS粘度 $2.4\text{mPa}\cdot\text{s}$ において、MoDTCおよびMoDTC・エステル配合油は、FM非配合油に比べて摩耗量が少なく、 $2.6\text{mPa}\cdot\text{s}$ と同等の摩耗防止性が維持されている。すなわち、カムにおいては、FMの配合によって低粘度化に伴う摩耗の増加が抑制できると判断される。これは、カムではリン

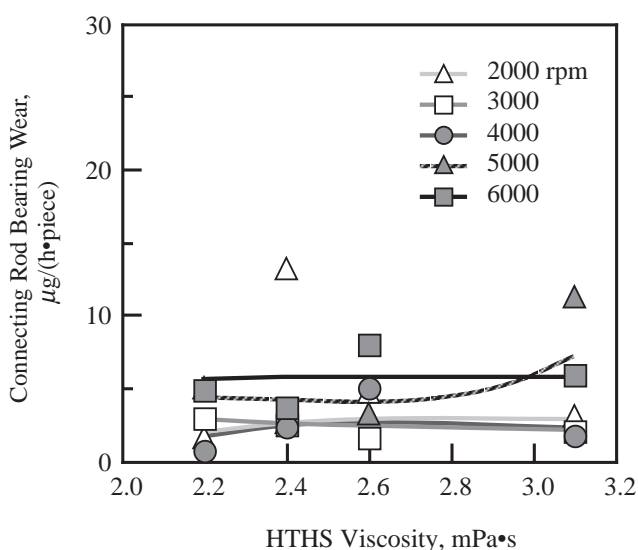


Fig. 6 Influence of engine oil viscosity on connecting rod bearing wear (oil temperature: 90°C).

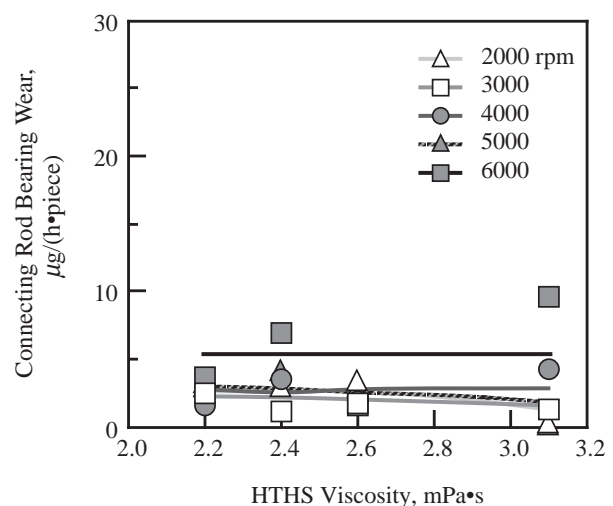


Fig. 7 Influence of engine oil viscosity on connecting rod bearing wear (oil temperature: 130°C).

グと異なり，周辺温度が比較的低いことなど，FMが有効に作用する潤滑条件にあるためと推測される。

3.2 摩耗防止の観点からの低粘度化の下限各部の摩耗が最も大きかった条件での，摩耗に及ぼす粘度およびFMの影響をまとめてFig. 10に示す。FM配合油においても，リングの摩耗がHTHS粘度2.4mPa・sで増大するため，摩耗防止性

の観点からの低粘度化の下限値は，2.6mPa・sにあると判断される。ただし，粘度の影響はエンジンの諸元および使用条件によって大きく異なるため，低粘度化の見極めに際しては更に多くの検討が必要と考えられる。

3.3 動弁系の摩擦に及ぼす影響

境界潤滑が主体の動弁系におけるエンジン油の摩擦特性は，主として，配合されたFMの摩擦低減効果に依存する。よって，配合するFMの選定が重要となる。各種FMの効果を動弁系摩擦測定試験機によって評価した。試験機の概要をFig. 11に示す。動弁系の摩擦として，モータがカムシャフトを所定の回転数で回すために必要な駆動トルクを測定した。試料油として，2.2節で述べたHTHS粘度2.6mPa・sのFM非配合油に各種のFMを配合したものを調製し，試験に供した。

油温90℃および130℃における各種FMの摩擦低減効果をそれぞれFig. 12およびFig. 13に示す。FMの配合によって動弁系の摩擦が低減されている。その効果は，エンジン回転数が低くかつ油温が高くなるほど，すなわち

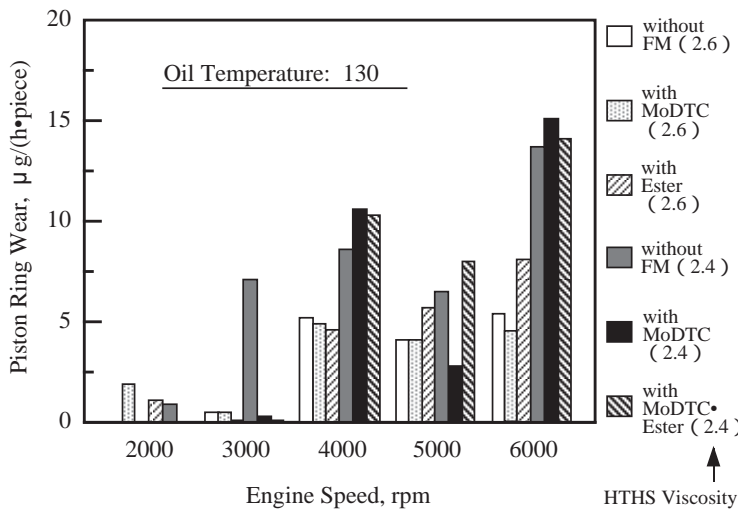


Fig. 8 Influence of engine oil viscosity and FM on piston ring wear.

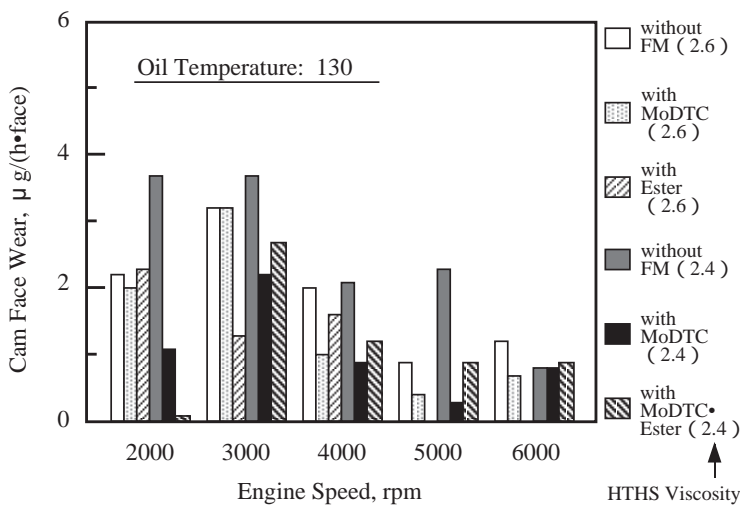


Fig. 9 Influence of engine oil viscosity and FM on cam face wear.

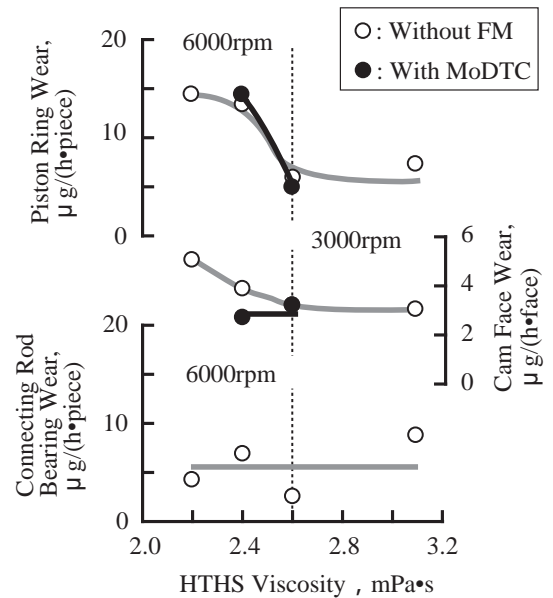


Fig. 10 Influence of engine oil viscosity and FM on engine wear.

油膜が薄くなり境界潤滑性が強くなるほど大きい。

FMの中では、MoDTCおよびジアルキルジチオリン酸モリブデン（以下、MoDTPと略記）ならびにエステルが優れた効果を示している。有機Mo系化合物（MoDTCおよびMoDTP）は、130°Cの高油温かつ1000rpm以下の低回転運転時において、最も優れた効果を示している。90°Cの低油温もしくは2000rpm以上の領域では、エステルの効果が大きい。

動弁系の摩擦低減の観点から、有効なFMとして2種類の有機Mo系化合物およびエステルが挙げられる。有機Mo系化合物の中では、前述したようにエンジン油中のリン濃度が制限されていることから、分子中にリンを含まないMoDTCがエンジン油用FMとして適切と判断される。

3.4 燃費に及ぼす影響

燃費に及ぼすMoDTCおよびエステルの配合ならびに低粘度化の影響をエンジン単体を用いた台上燃費試験によって検討した。エンジンには、2ℓ、直列4気筒のガソリンエンジンを用いた。試験条件は、回転数2000 rpm、負荷50 N・m、油温100°Cである。

試料油として、前節で述べたHTHS粘度が2.6mPa・sのFM配合油およびFM非配合油を用いた。比較のために、FMが配合されているHTHS粘度が3.0mPa・sの省燃費型市販油を試験に供し

た。

FM非配合油に対する燃費向上率をFig. 14に示す。FMの配合による燃費の向上が認められる。特に、MoDTC配合油において1.5%以上と、最も大きな効果が得られている。また、市販油と比較しても、低粘度化とFM配合の効果によって、より優れた省燃費性が認められる。

3.5 MoDTCの作用機構

MoDTCの作用機構について、実験室規模の摩擦試験、しゅう動面の粗さ測定および表面分析を

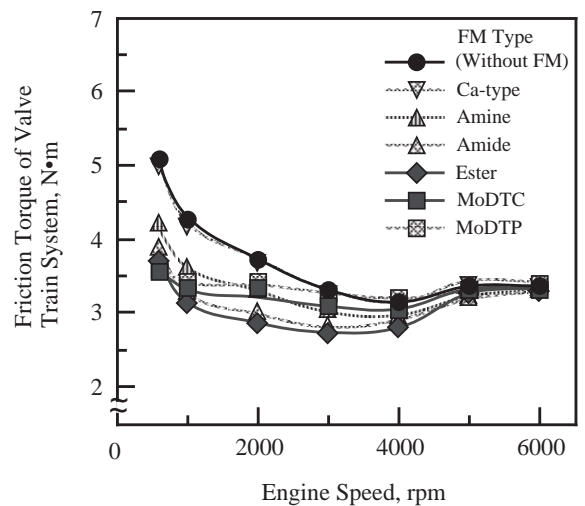


Fig. 12 Influence of FM on valve train friction (oil temperature: 90°C).

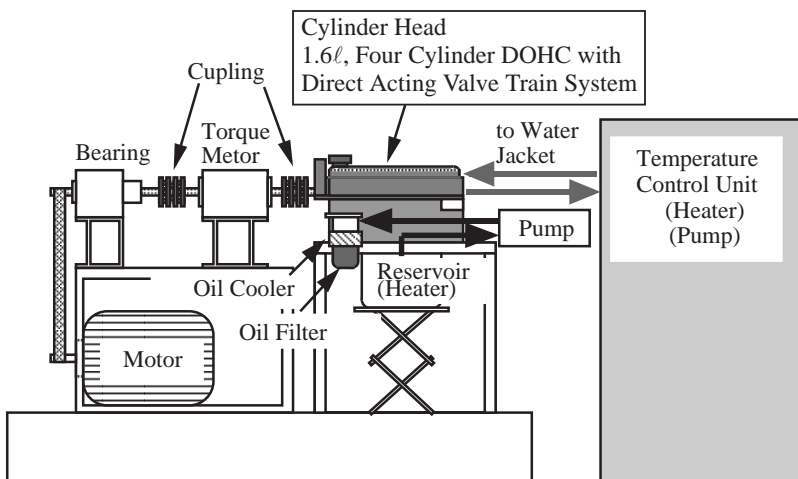


Fig. 11 Friction measurement systems for valve train.

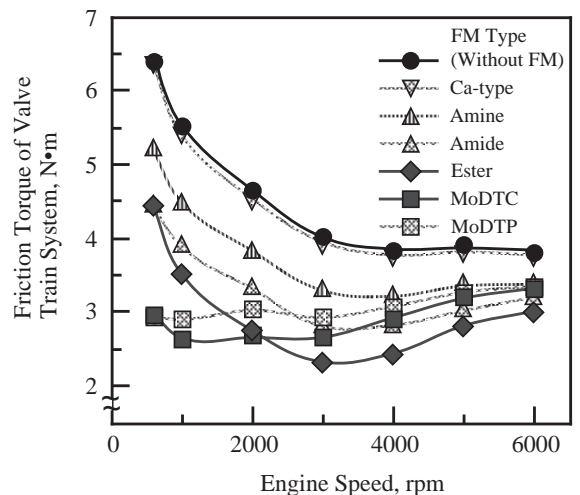


Fig. 13 Influence of FM on valve train friction (oil temperature: 130°C).

行うことによって検討した¹²⁾。試験には、境界潤滑での摩擦を評価できるクロスピン型摩擦試験機¹³⁾を用いた。

MoDTC配合油を用いて試験を行った後のしゅう動面をXPS (X-ray photoelectron spectroscopy) で分析することによって得られたスペクトルをFig. 15に示す。ピークフィッティングの結果から、MoS₂と類似した構造を持つMo化合物が主に生成していることが分かる。このしゅう動面の摩擦係数を乾燥条件下で測定することによって、この反応被膜がMoS₂単結晶のへき開面に近い低摩擦特性を示

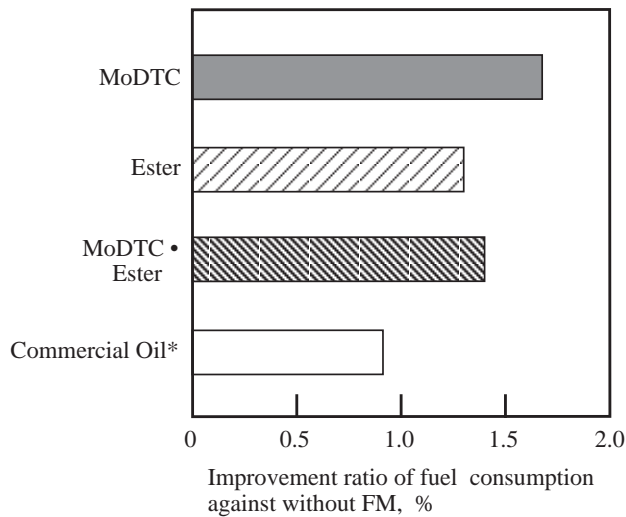


Fig. 14 Influence of FM on fuel consumption (conducted at Toyota Motor Corporation).

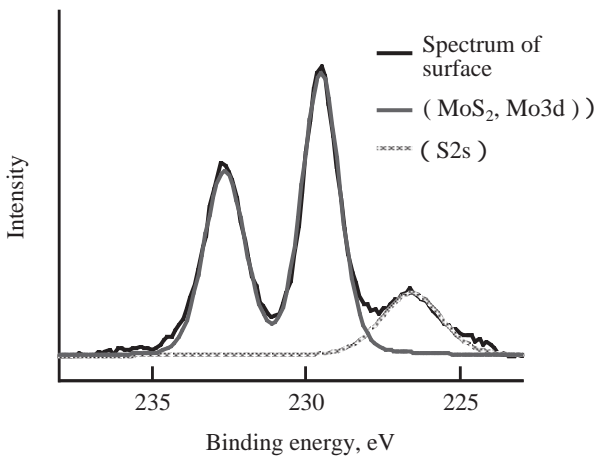
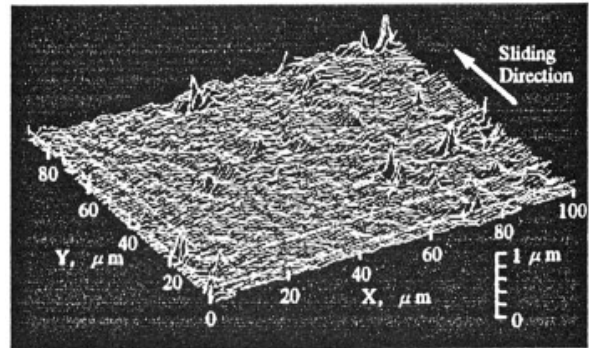


Fig. 15 XPS spectrum of wear scar surface (Mo content of oil: 460ppm).

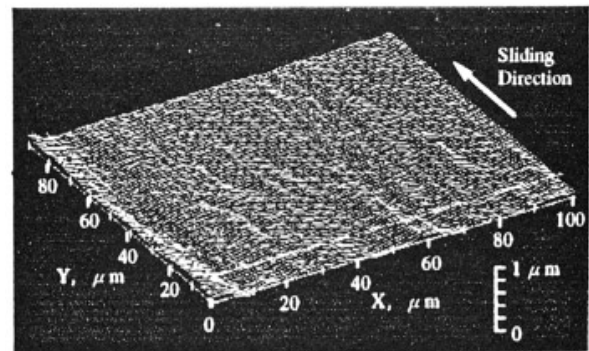
すことを確認した¹²⁾。このような物性的に低摩擦特性を示す被膜の形成は、固体接触部における摩擦低減に寄与する。

電子線式粗さ測定装置によって測定したしゅう動面の3次元粗さをFig. 16に示す。MoDTC配合油を用いた場合には、MoDTC非配合油と比較して、表面が平滑化されている。表面の平滑化は、しゅう動面での固体接触を減少させることにより、摩擦低減に作用する。

摩擦特性とMoS₂の生成量および表面粗さとの関係をFig. 17にまとめて示す。摩擦特性がMoS₂の生成量と表面粗さの両者に依存し、MoS₂の生成量が多いほど、また表面粗さが小さいほど低摩擦特性を示していることが分かる。したがって、MoDTCによる摩擦低減作用は、しゅう動面におけるMoS₂ (もしくは、MoS₂類似物) の生成およびしゅう動面の平滑化に起因すると推察される。



a) Sample Oil: Without MoDTC (Ra*: 0.066 μm)



b) Sample Oil: With MoDTC [1840 ppm Mo] (Ra*: 0.022 μm)

*: Measured by electron probe surface roughness analyzer

Fig. 16 Roughness of contact surface rubbed.

また，3.1節で述べたカムに対する摩耗防止についても，これらのことが有効に作用したものと推察される。

5. おわりに

現状のエンジンを基準においた場合，低摩擦エンジン油の設計指針は，HTHS粘度を $2.6\text{mPa}\cdot\text{s}$ にし，MoDTCを配合することにあると結論づけられた。こうした提示は新たなエンジン油の開発設計に反映され，自動車の燃費向上につながっている。

自動車の燃費向上は恒久的な命題となっている。そのため，エンジン油のみならず，材料やエンジン設計についても低摩擦化の検討が進められている。エンジンの仕様によって，油に要求される最適な特性は異なる。したがって，今後のエンジンの摩擦低減に対しては，油，材料および設計の三者による総合的な最適化が，重要かつ不可欠になるものと考えられる。

最後に，本研究にご協力頂いた，日本ループリゾール株式会社，トヨタ自動車株式会社第1材料技術部および第1エンジン技術部の関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 和栗雄太郎, 副島光洋, 北原辰巳, 布谷昌俊, 可部幸正 : 日本機械学会論文集, 59-560(1993), 218
- 2) 中田雅彦, 増田義彦 : 月刊トライボロジ, 4(1995), 12
- 3) 星野道男 : 潤滑, 29-2(1984), 91
- 4) Yamamoto, Y. and Gondo, S. : Tribology Trans., 32-2(1989), 251
- 5) Ohmori, T., Tohyama, M., Yamamoto, M., Akiyama, K., Tasaka, K. and Yoshihara, T. : SAE Tech. Pap. Ser., No.932782, (1993)
- 6) 遠山護, 大森俊英, 山本匡吾, 秋山健優, 河合博美, 児島宣明 : トライボロジー会議'96秋北九州予稿集, (1996), 120
- 7) Treuhaft, M. B, Iddings, F. A., Boyd, G. A. and Sprague, S. R. : SAE Tech. Pap. Ser., No.941982, (1994)
- 8) 古浜庄一, 榎本良輝 : 日本機械学会論文集, 39-317(1973), 324
- 9) 榎本良輝, 北原伸浩, 竹中俊夫 : 自動車技術会論文集, 44(1990), 32
- 10) Ueda, F., Sugiyama, S., Arimura, K., Hamaguchi, S., and Akiyama, K. : SAE Tech. Pap. Ser., No.940746, (1994)
- 11) 岡本篤彦, 藤田憲次, 川村益彦 : 日本化学会誌, 6(1988), 916
- 12) Tohyama, M., Ohmori, T., Shimura Y., Akiyama, K., Ashida, T. and Kojima, N. : Proc. of Int. Tribology Conf. Yokohama, (1995), 739
- 13) 川村益彦, 藤田憲次, 二宮清 : 潤滑, 23-6(1978), 422

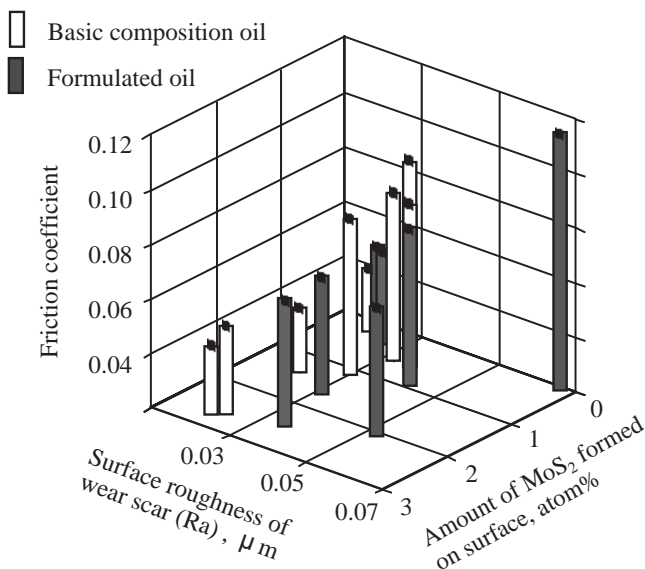


Fig. 17 Relationship between friction coefficient, amount of MoS_2 formed and surface roughness.

著者紹介



遠山 護 Mamoru Tohyama
 生年：1967年。
 所属：流体・トライボ研究室。
 分野：潤滑油に関する研究・開発。
 学会等：日本トライボロジー学会会員。
 1994年度日本トライボロジー学会
 論文賞受賞。



筒井 治 Osamu Tsutsui
 生年：1940年。
 所属：技術開発研究室。
 分野：RIを利用したエンジン試験。



大森俊英 Toshihide Ohmori
 生年：1959年。
 所属：流体・トライボ研究室。
 分野：潤滑油に関する研究・開発。
 学会等：日本トライボロジー学会，日本
 塑性加工学会学会会員。
 1991年日本潤滑学会（現日本トラ
 イボロジー学会）論文賞受賞。
 1991年 R&D100受賞。
 1996年東海化学工業会賞受賞。
 工学博士。



山本匡吾 Masago Yamamoto
 生年：1941年。
 所属：技術開発研究室。
 分野：パワートレーンのトライボロジー
 計測・解析。理工学へのRI利用。
 放射線管理。
 学会等：日本アイソトープ協会，トライ
 ボロジー学会，日本非破壊検査協
 会，日本保健物理学会会員。