

MoDTC のアルキル鎖長が摩擦低減効果に与える影響
The effect of alkyl chain of MoDTC on friction reduction performance

ADEKA (正) *高野 紘一 (非) 飯野 真史 (正) 山本 賢二

Koichi Takano, Shinji Iino, Kenji Yamamoto

ADEKA CORPORATION

1. はじめに

摩擦低減剤の適用によるエンジンの摩擦損失低減は、エンジンの熱効率向上のための一つの技術である¹⁾。代表的な摩擦低減剤であるモリブデンジアルキルジチオカルバメート (MoDTC) は、エンジンにおける熱効率向上効果が認められており、MoDTC 配合低粘度油が優れた省燃費性能を示すことが報告されている²⁾。MoDTC は比較的極性の高い化合物であり、金属表面へ吸着しやすく、摩擦による動的小および熱的なエネルギーにより分解し、摩擦面に低せん断な MoS₂ 被膜を形成することで摩擦が低下するとされている³⁾。

近年、気候変動へ対応するため CO₂ 排出量の削減が求められており、ICE と比較して優れた燃費性能を有する HEV や PHEV が今後ますます普及すると予測されている。HEV は ICE と比較して油温が低い傾向にあることが知られているが、MoDTC の摩擦低減効果は油温に強く依存しており、低温では高温と比較して効果を発揮しにくいとされている⁴⁾。それに対して筆者らは、油温が低い傾向にある HEV においても MoDTC 配合低粘度油が優れた省燃費性能を示すことを報告している。また MoDTC のアルキル鎖長によって摩擦低減効果に差異があり、とりわけ低温条件では MoDTC (L) と比較して MoDTC (std.) が優れた摩擦低減効果を発揮することも報告している (Fig. 1)⁵⁾。本研究では先の燃費試験において MoDTC のアルキル鎖長による摩擦低減効果に差異が生じた要因に迫るため、Ball on disk 試験と MoDTC の熱分析、試験後の disk の表面分析を実施した。

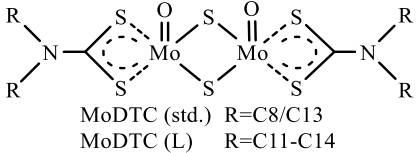


Fig. 1 Chemical structure of MoDTCs

2. 実験

2-1. 評価油

本検討で用いた MoDTC の構造を Fig. 1 に、評価油とその粘度特性を Table 1 にそれぞれ示す。評価油は文献 5 の評価油と同一であり、ILSAC GF-6 タイプの性能添加剤と PMA 型粘度指数向上剤を用いた。No. 2, 3 にはアルキル鎖長の異なる MoDTC をそれぞれ Mo: 900ppm 添加し、両者を比較することで MoDTC のアルキル鎖長の影響を調査した。

Table 1. Tested oils and its viscometric properties

No.	Name	Additive technology	Base oil	MoDTC, ppm (Mo)	KV ^{a)} , mm ² /s		VI ^{b)}	TBS, mPa·s		Noack ^{d)} , %
					40 °C	100 °C		80 °C	150 °C ^{c)}	
1	0W-16 w/o MoDTC	GF-6	Gr. III Plus	—	27.8	6.3	187	6.9	2.3	<15
2	0W-16 w/ MoDTC (std.)	GF-6	Gr. III Plus	900	28.1	6.4	189	7.0	2.3	<15
3	0W-16 w/ MoDTC (L)	GF-6	Gr. III Plus	900	28.1	6.3	188	7.1	2.3	<15

a) ASTM D445, b) ASTM D2270, c) ASTM D4683, d) ASTM D5800B/D

2-2. Ball on disk 試験 (MTM)

Ball on disk 試験の条件を Table 2 に示す。本検討ではマイルドな潤滑条件でも評価を行うため、荷重を変更して試験を行った。また、過去検討において低温環境でアルキル鎖長の影響が見られていることから⁵⁾、油温は 40 °C とした。

2-3. 熱分析 (TG-DTA)

TG-DTA を用いて、MoDTC (std.) と MoDTC (L) の熱分解温度を空気雰囲気下で測定した。

2-4. 表面分析 (EDX)

EDX を用いて、Ball on disk 試験後の disk 表面の元素分析を行った。硫黄とモリブデンは極めて似たエネルギーの特性 X 線を発するため、区別が難しい。そのため、両者の濃度は合わせて記した。

3. 結果

3-1. Ball on disk 試験

Ball on disk 試験の結果を Fig. 2 に示す。26N, 36N のどちらの条件においても両 MoDTC は摩擦低減効果を示したものの、MoDTC (L) と比較して MoDTC (std.) は優れた摩擦低減効果を示した。とりわけ 26N では、MoDTC (std.) の方が顕著に摩擦係数を低下させた。

3-2. 熱分析 (TG-DTA)

熱分析の結果を Table 3 に示す。熱分解温度は MoDTC (L) の方が低かった。

Table 2. Ball on disk test parameters

Parameter	Stribeck mode	Step mode
Load	26, 36 N	
Contact pressure	0.9, 1.0 GPa (max.)	
Mean rolling speed	10 to 3000 mm/s	50 mm/s
Slide-roll ratio (SRR)	50%	
Test temperature	40 °C	
Test specimens	Ball: SUJ2, φ3/4 inch	
	Plate: SUJ2, φ46 × 5 mm	

Table 3. Thermal analysis results

Condition	Results (Decomposed temperature)	
	MoDTC (std.)	MoDTC (L)
Air, 2°C/min	320 °C	295 °C

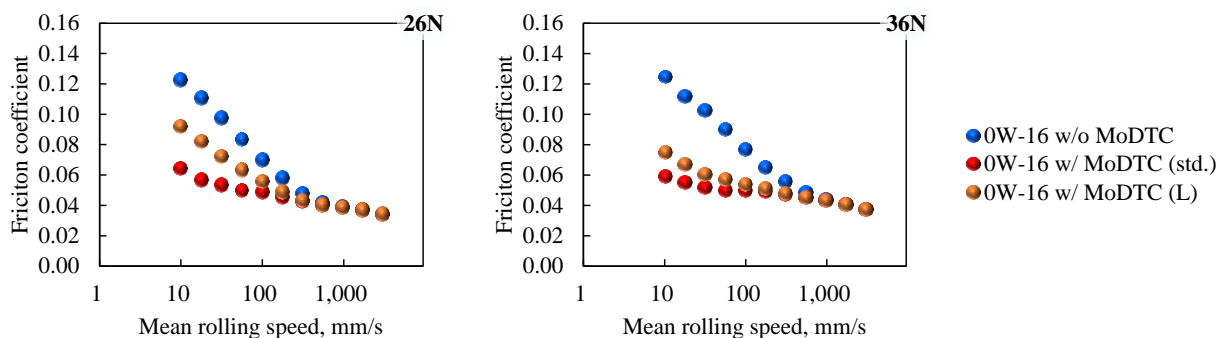


Fig. 2 Ball on disk test results

3-3. 表面分析 (EDX)

表面分析の結果を Fig. 3 に示す. 両 MoDTC 配合油ともに disk 表面から硫黄およびモリブデンが検出されたが, どちらの Ball on disk 試験条件においても MoDTC (std.) 配合油の方が高い硫黄とモリブデン (S + Mo) の濃度を示した.

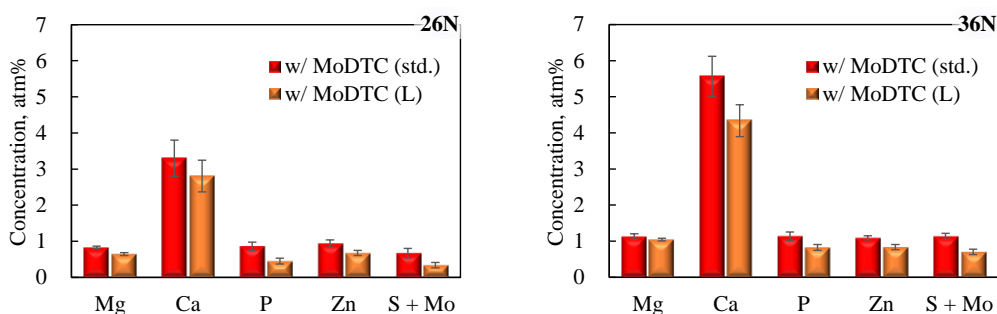


Fig. 3 Surface elemental analysis results

4. 考察

Ball on disk 試験においても, これまで効果を発揮しにくいとされてきた低温条件でも MoDTC が摩擦低減効果を発揮することが確認された. また, MoDTC (L) と比較して MoDTC (std.) は優れた摩擦低減性能を示し, とりわけマイルドな潤滑条件では MoDTC (std.) の方が顕著に摩擦係数を低下させた. MoDTC (std.) 配合油の方が試験後の disk 表面における硫黄とモリブデンの濃度が高いため, MoS_2 の生成量が多いことが示唆された. MoS_2 の生成速度は生成速度定数と摺動面における MoDTC の濃度に比例すると考えられるが, 生成速度定数は熱分解温度の低い MoDTC (L) の方が大きいと推測される. 一方で, MoDTC (L) は MoDTC (std.) と比較してエンジン油に対して高い溶解性を有していることが報告されてことから⁹⁾, 摺動面における濃度は MoDTC (std.) と比較して低いと推測される. すなわち, MoDTC (std.) の方が摺動面における MoDTC の濃度が高いため MoS_2 の生成量も多く, 低温かつマイルドな潤滑条件でも MoDTC (L) と比較して優れた摩擦低減性能を示したと考えられる.

5. 結論

Ball on disk 試験においても, MoDTC (std.) の方が優れた摩擦低減性能を有することを確認した. また熱分解温度は MoDTC (L) の方が低いものの, 試験後の disk 表面の硫黄とモリブデンの濃度を比較すると MoDTC (std.) 配合油の方が高いことが示された. これらのことから, MoDTC (std.) の方が摺動面における MoDTC の濃度が高いため MoS_2 の生成量が多く, MoDTC が効果を発揮しにくいとされている低温かつマイルドな潤滑条件でも MoDTC (L) と比較して優れた摩擦低減性能を示すことが示唆された. 冒頭で述べた通り筆者らは, 油温が低い傾向にある HEV において MoDTC (L) と比較して MoDTC (std.) が優れた燃費改善効果を発揮することを報告している⁹⁾. 本検討の結果から, 既報の HEV を用いた燃費試験においても MoDTC (std.) の方が摺動面における MoDTC の濃度が高く, より多くの MoS_2 が生成したため低温条件で優れた燃費改善効果を示したといえる.

文献

- 1) K Hayashi, et al.: Tribo-technologies for improving fuel efficiency, Proceeding of World Tribology Congress 2009, 584 (2009).
- 2) K. Yamamoto, et al.: The Study of Friction Modifiers to Improve Fuel Economy for WLTP with Low and Ultra-Low Viscosity Engine Oil, SAE 2019-01-2205.
- 3) Y. Yamamoto, S. Gondo: Friction and Wear Characteristics of Molybdenum Dithiocarbamate and Molybdenum Dithiophosphate, Tribol. Trans., **32**, 2 (1989) 251.
- 4) 駒場ら: MoDTC 添加油の潤滑効果に対する温度の影響, トライボロジスト, **62**, 11 (2017) 703.
- 5) K. Takano, et al.: The Fuel Economy Improvement Effect of MoDTC with Low Viscosity Engine Oil under Hybrid Electric Vehicle, SAE 2023-32-0112.
- 6) K. Yamamoto, et al.: The effect of MoDTC chemical structure on friction reduction properties, ITS-IFTToMM 2017 & K-TIS 2017 (2017).