

MoDTC 配合油の摩擦特性に水混入が与える影響

The effect of water contamination on the friction properties of MoDTC formulated oil

ADEKA（正）\*高野 紘一 （非）飯野 真史

Koichi Takano, Shinji Iino

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<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>、ガソリンエンジンを中心とした乗用車向け低粘度省燃費油に広く適用されている。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 MoS<sub>2</sub> 被膜を形成することで摩擦が低下するとされている<sup>3)</sup>。

近年、気候変動へ対応するため CO<sub>2</sub> 排出量の削減が求められており、燃費性能に優れる HEV や PHEV が今後ますます普及すると予測されている。しかしながら、HEV や PHEV は ICE と比較して油温が低い傾向にあることが知られており、エンジンオイルに混入した水が気化せずにオイル中に残りやすいと言われている。また、水素やバイオエタノールなどのカーボンニュートラル燃料の適用も活発に検討が進められているが、燃焼過程で生じる水のエンジンオイルへの混入が課題となっている<sup>4)</sup>。

このように水の混入によるエンジンオイルの汚染および性能低下のリスクが高まっているものの、MoDTC 配合油に水が混入した際の摩擦低減性能への影響や MoDTC 自体の挙動については不明な点が多い。そのため本検討では、MoDTC 配合油に水が混入した場合の摩擦特性の変化、および MoDTC 自体の挙動について調査した。

2. 評価油

本検討では、市販エンジンオイル (0W-16, API SP/ILSAC GF-6B) 3 種を用いて調査を行った。本検討で用いた市販エンジンオイルの分析結果を Table 1 に示す。いずれの評価油にも MoDTC が高濃度で配合されている。

Table 1 Tested oils and its analysis results

Entry	Name	Vis.	Spec.	MoDTC ppm (Mo)	Elemental analysis by ICP, ppm						
					Mo	Zn	P	S	Ca	Mg	B
1	Oil-A	0W-16	SP/GF-6B	540	790	860	770	2,300	1,480	470	190
2	Oil-B	0W-16	SP/GF-6B	870	880	880	760	2,560	1,230	450	<10
3	Oil-C	0W-16	SP/GF-6B	740	960	870	740	2,460	1,470	480	470

3. 実験

3.1 摩擦特性評価

ビーカーに入れた評価油に蒸留水 5wt% を混入させ、ホットプレート付きマグネチックスターラーを用いて室温で 1 hr 攪拌することで、水を混入させた評価油を調製した。水混入前後の評価油の摩擦特性をシリンダーオンディスクタイプ摩擦試験で評価することにより、水混入の影響を調査した。摩擦試験の試験条件を Table 2 に示す。加えて、水を混入させた評価油を 70 ~ 80 °C で 2 hr 加熱攪拌することで常圧脱水し、気化式カルフィッシャー水分計を用いて脱水後の水分を測定した。また、脱水後の評価油の摩擦特性もシリンダーオンディスクタイプ摩擦試験で評価した。

Table 2 Cylinder on disk test conditions

Parameters	Conditions
Load	400 N
Contact pressure	0.3 GPa (max.)
Stroke	1.5 mm
Frequency	50 Hz
Test temperature	40 ~ 120 °C
Testing time	45 min.
Test specimens	Cylinder: SUJ2, φ15 x 22 mm
	Plate: SUJ2, φ24 x 6.8 mm

3.2 MoDTC の挙動調査

ビーカーに入れた評価油に蒸留水を重量比 1 : 1 で混入させ、ホットプレート付きマグネチックスターラーを用いて 50 ~ 60 °C で 5 hr 加熱攪拌した。その後、遠心分離 (2100G, 2 hr) によって水層と油層を分離し、上澄み液をデカンテーションすることで油層を回収した。回収した油層の ICP 元素分析および MoDTC 濃度を測定し、各元素および MoDTC の回収率を算出することで MoDTC の挙動を調査した。







4. 結果

4.1 摩擦特性評価

水混入後および脱水後における評価油の外観と脱水後の水分量を Table 3 に示す。水混入後はいずれの評価油も乳化した状態であり、1 晩静置しても乳化状態を維持していることを確認した。また、加熱による脱水を行うことでいずれの評価油も濁りが消失して透明に戻り、沈殿物も確認されなかった。

続いて、シリンダーオンディスクタイプ摩擦試験の結果を Fig. 1 に示す。いずれの評価油においても、水が混入することで 40 °C から 80 °C もしくは 90 °C の温度域において、大幅な摩擦係数の増加が確認された。一方で、100 °C 以上

Table 3 Appearances and water contents of tested oils

	After mixing with water (r.t., 1 hr)			After dehydration (70 ~ 80 °C, 2 hr)		
	Oil-A	Oil-B	Oil-C	Oil-A	Oil-B	Oil-C
Appearance						
Water content	5wt% (estimate)			0.06wt%	0.03wt%	0.05wt%

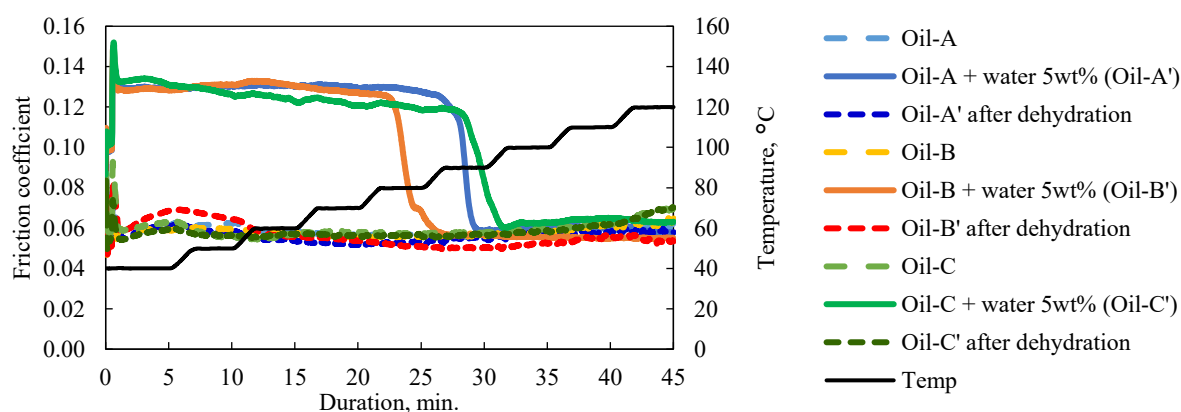


Fig. 1 Cylinder on disk test results

においては水混入前の評価油と同程度の摩擦係数を示した．また，水混入後に脱水を施した評価油はすべての温度域で水混入前の評価油と同程度の摩擦係数を示した．

#### 4.2 MoDTC の挙動調査

水混合前後の ICP 元素分析および MoDTC 濃度測定結果と油層回収率から算出した各元素および MoDTC の回収率を Fig. 2 に示す．Mo および Zn はほぼ全量油層に回収されたものの，その他の元素については減少しており，とりわけ B は回収率が低かった．また，MoDTC 量については，水混合前後で顕著な変化は確認されなかった．

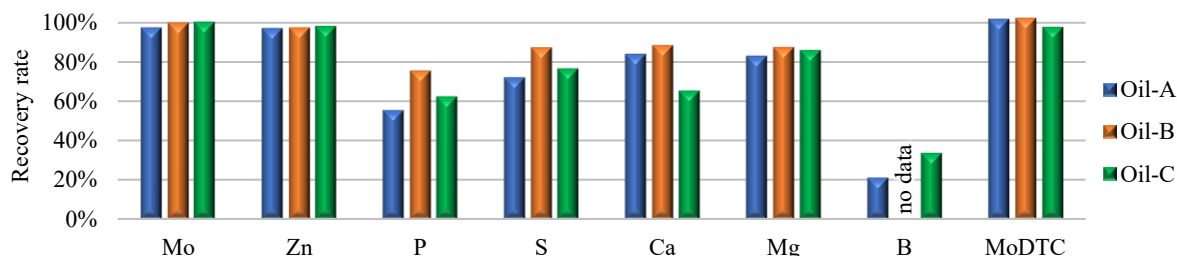


Fig. 2 Recovery rates of each element and MoDTC

#### 5. 考察

摩擦試験において，水を混入させた評価油では低温から中温域にかけて摩擦係数の増加が確認されたものの，高温域および脱水後の評価油では水混入前の評価油と同程度の摩擦係数を示した．また，水混合前後で Mo 量および MoDTC 量に顕著な変化がないことから，エンジンオイルに水が混入しても MoDTC の分解は進行せず，水層にも移行しないことが示唆された．これらのことから，低温から中温域では系内に残った水によって MoDTC の金属表面への吸着が阻害され，効率的に MoS<sub>2</sub> 被膜が形成されなかったことから，摩擦係数が増加したと考えられる．一方，高温域では系外に水が放出されたため，水混合前と同程度の摩擦係数を示したと推測される．

#### 6. 結論

MoDTC 配合油に水が混入すると摩擦特性が悪化するものの，系外に水が放出されることで水混入前と同等の摩擦特性を示すことを明らかにした．エンジンオイルに水が混入しても MoDTC の分解は進行せず，水層にも移行しないことから，MoDTC の金属表面への吸着が阻害されたことにより摩擦特性が悪化したと推察される．

#### 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) 三原他: 予混合水素エンジンの運転条件とシリンダー壁温の違いが潤滑油中の凝縮水割合に与える影響, 自動車技術会 2024 春季大会, 文献番号 20245283(2024).