

ガソリン用エンジン油の省燃費性能向上に関する検討（第4報） ～オレイルサルコシンと ZDDP の併用による相乗効果～

Study on Optimization of Additives in Engine Oil for Improvement of Fuel Consumption of Gasoline Cars (4th Report)

京大・工（院）*SHEN WEIQI 中国科学院大学（非）HAN DONGJIANG 京大・工（正）平山 朋子

京大・工（非）安達 眞聡 東理大（正）山下 直輝

ENEOS 株式会社（正）常岡 秀雄 ENEOS 株式会社（正）田川 一生 ENEOS 株式会社（正）置塩 直史

WeiQi Shen*, Dongjiang Han**, Tomoko Hirayama*, Masato Adachi*, Naoki Yamashita***,

Hideo Tsuneoka****, Kazuo Tagawa**** and Tadashi Oshio****

*Kyoto University, **University of Chinese Academy of Sciences, ***Tokyo University of Science, ****ENEOS Corporation

1. はじめに

ジアルキルジチオリン酸亜鉛(ZDDP)と有機摩擦調整剤(OFM)を併用し、耐摩耗性を維持した上で境界潤滑域での摩擦を低減し、自動車エンジンの性能を上げ、省燃費性能の向上を目指している。前報¹⁾までの結果で、オレイルサルコシンと ZDDP の併用系では相乗効果が発現されると示唆されたことから、本研究では、マクロの実験系においてその相乗効果を検証し、摺動界面の反応膜形態と摩擦係数の関係について調べた。

2. 試料油と実験方法

基油として PAO4 を、添加剤として第二級の ZDDP ($R=C_4H_9$) とオレイルサルコシン (OS) を用いた。試料油として、前述添加剤が単独で添加された「ZDDP のみ」、「OS のみ」と両方が併用された「ZDDP+OS 併用」の三種類を用いた。添加濃度では、ZDDP はリン量 700 ppm, OS は 0.3 mass% だった。SUJ2 のボール(3/16 inch)と基板(15×15×4 mm, Ra~0.04 μ m, HRC 58~60)を用い、ボールオンディスク試験 (FPR-2100, RHESCA) を行った。摩擦試験の測定条件は Table 1 に示す。試験後、ボール側の摺動面を観察した。

Table 1. Experimental conditions

Sliding speed (mm/s)	10
Stroke length (mm)	5
Normal load (g)	500
Test duration (s)	5400
Diameter of the ball (inch)	3/16
Maximum pressure (MPa)	1306
Average pressure (MPa)	871
Temperature (°C)	25,100

3. 摩擦試験の結果

摩擦試験の結果を Fig.1 に示す。試料油ごとに異なる摩擦係数の挙動が見られた。

Figure 1-A に示しているように、100°Cにおいて、「ZDDP のみ」は最も高い摩擦係数を示した。そして、2000 サイクル以降では摩擦係数が上昇と低下を繰り返す挙動が見られた。一方で、「OS のみ」は 4000 サイクルまで最も低い摩擦係数を示していたが、その後急激に増加した。これらに対し、「ZDDP+OS 併用」はより安定な摩擦係数を示した。摩擦挙動が安定したと考えられた最後の 200 サイクルでは、「ZDDP のみ」、「OS のみ」と「ZDDP+OS 併用」の摩擦係数の平均値はそれぞれ 0.21, 0.98 と 0.96 であり、「ZDDP+OS 併用」は「OS のみ」よりやや低い摩擦係数を示した。

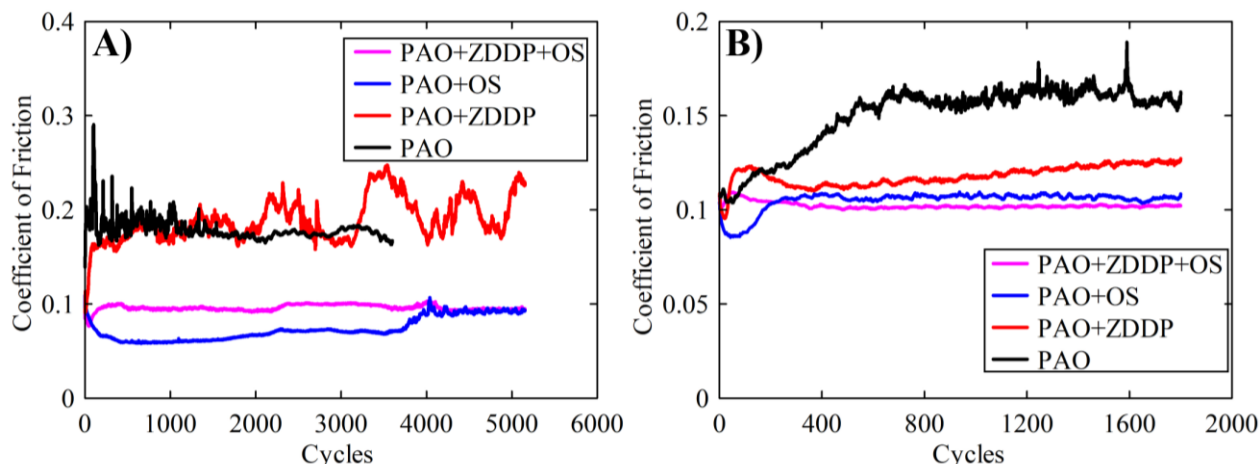


Figure 1. Friction coefficients lubricated with each oil mixture. A) At 100°C; B) At 25°C

25°Cの結果を Fig.1-B に示す。100°Cの結果と同じ傾向が見られたが、摩擦係数が 400 サイクル時点で既に安定した。「ZDDP のみ」では、摩擦係数はまず上昇し、100 サイクル目付近で最大値に達した後低下したが、400 サイクル以降では再び徐々に上昇した。「OS のみ」では、最初の 200 サイクルで最も低い摩擦係数が見られたが、その後摩擦係数が上昇し、「ZDDP+OS 併用」の摩擦係数を上回った。これらに対し、「ZDDP+OS 併用」は最も安定な摩擦挙動を示

した。最後の 200 サイクルでは、「ZDDP のみ」、「OS のみ」と「ZDDP+OS 併用」の摩擦係数の平均値は其々 0.13, 0.11 と 0.10 であり、「ZDDP+OS 併用」は最も低い摩擦係数を示した。

4. 考察

各試料油使用時の摩擦係数の変化と摺動面の状態の関係を調べるために、25°C の 0~600 サイクルを拡大し、Fig.2 に示す。ボール表面を観察したサイクルは Fig.2 に標記されている。各サイクルにおけるボール表面の観察画像は Fig.3 に示す。

「ZDDP のみ」では、Fig.2-A に示しているように、A₁ から摩擦係数が上昇し始め、A₂ では最大値になった。Fig.3-A₂ の摺動面観察画像から、Fig.3-A₁ に見られなかった深い青色の反応膜が見られた。この過程において、摺動に伴い、ZDDP トライボフィルムが摺動面に形成され始めたことと示唆される。更に摺動すると、摩擦係数が低下、安定し、Fig.3-A₃ に示しているようなガラス質のトライボフィルムが見られた。

一方で、「OS のみ」では、Fig.2-B に示しているように、B₁ では摩擦係数が最も小さく、濃縮した OS 吸着膜の作用で低摩擦を維持していると示唆される²⁾。しかし、摺動に伴い OS の吸着膜が枯渇し、低摩擦を維持できなくなり、Fig.3-B₂ では顆粒状の反応膜が見られた。更に摺動しても摩擦係数は安定であり、600 サイクル後では Fig.3-B₃ に示しているように、顆粒状の枯渇膜に摺動痕が見られた。

これらに対し、Fig.3-C₁ から見られるように、「ZDDP+OS 併用」では、摺動方向の両側 (Fig.3-C₁, 点線の枠外) に Fig.3-B₁ に似たような粒状のものが多く見られ、OS が多く吸着されたことと示唆された。一方で、中心部 (Fig.3-C₁, 点線の枠内) では粒状のものが少なかったため、ZDDP の併用によって OS の吸着が妨げられたことと示唆された。また、ZDDP と OS の競争吸着は、最初の数十サイクルで「ZDDP+OS 併用」が其々の単独使用より高い摩擦係数を示した原因だと考えられる。Fig.3-C₂ では、Fig.3-B₂ と似た枯渇膜が見られたが、接触円の中心部にしか形成されなかった。これは、ZDDP が OS 枯渇膜の形成を遅らせたのと同時に、高吸着性の OS が高摩擦の ZDDP トライボフィルムの形成を防いだと考えられる。更に摺動すると、Fig.3-C₃ に示したように反応膜が成長したことが見られた。しかし、Fig.3-B₃ と違い、反応膜の表面に摺動痕が見られなかった。また、ガラス質なトライボフィルムが顆粒状の枯渇膜の間に満たしていることが見られた。「ZDDP+OS 併用」は OS 由来の低摩擦特性を維持している上に、ZDDP トライボフィルムの過剰成長を防ぐことができた。また、1800 サイクル終了時点では、「ZDDP+OS 併用」での接触円面積は最も小さく、ZDDP 由来の耐摩耗性を受け継いだことと示唆された。

5. 結論

ZDDP と OS の併用では、それぞれの単独使用より低い摩擦係数・小さい接触円面積が見られ、併用による相乗効果が示唆された。相乗効果発現のメカニズムとして、25°C では、ZDDP は OS 吸着膜の枯渇を遅らせることができ、また、OS の吸着は ZDDP トライボフィルムの過剰成長を防ぐことができると考えられる。100°C では、ZDDP が成膜しやすくなり、一方で、潤滑油の流動性向上によって OS が枯渇しにくくなると推測される。これによって、「ZDDP のみ」はトライボフィルムの成長・摩耗に伴って摩擦係数が大きく変化し、「OS のみ」はより長く低摩擦状態を維持したと考えられる。一方で、「ZDDP+OS 併用」では ZDDP トライボフィルムの過剰成長がなく、安定な摩擦係数を示したと考えられる。

参考文献

- 1) SHEN ら, ガソリン用エンジン油の省燃費性能向上に関する検討 (第三報), トライボロジー会議 2021 秋松江, F3
- 2) 市橋俊彦ら, その場観察により測定した油膜の添加剤濃度と湿式クラッチの摩擦特性との関係, 58, 8(2013)581~588

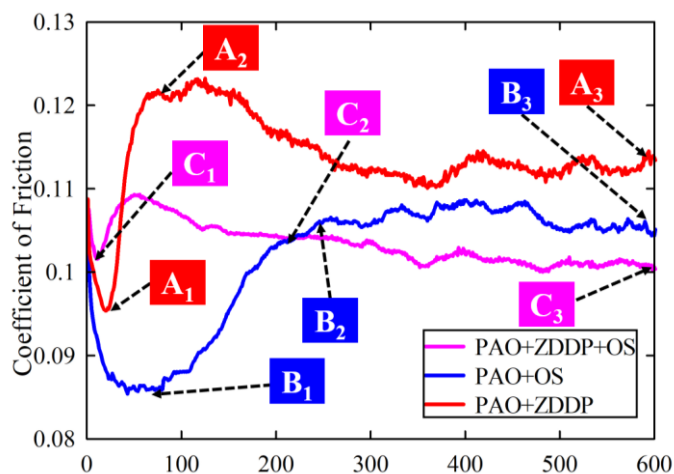


Figure 2. Friction coefficient during 0~600 cycles at 25°C

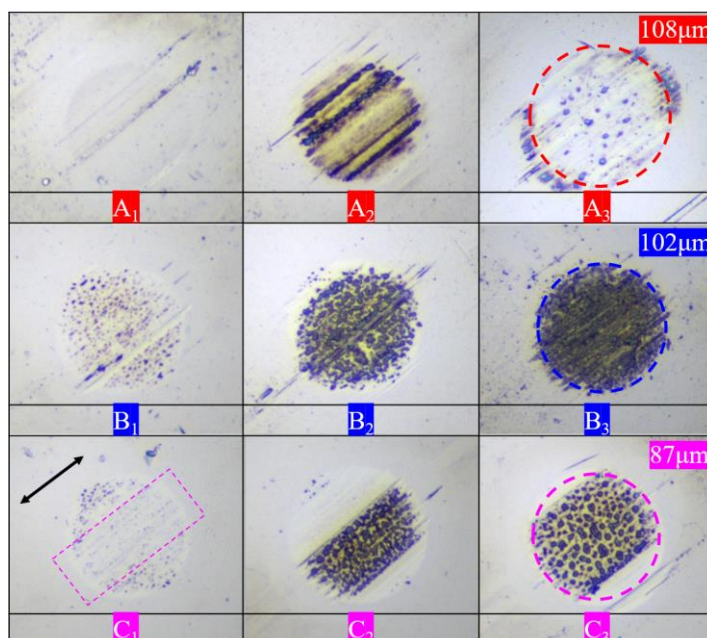


Figure 3. Friction coefficient and sliding surface observation