

氏 名（本 籍）	お の で ら 小野寺 康（千葉県）
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	甲第 1080 号
学位授与の日付	2021 年 3 月 18 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 題 目	低燃費自動車のエンジンに使用する潤滑油を用いた摩擦低減に関する研究

論 文 審 査 委 員	（主査）教授 佐々木信也
	教授 石川 仁      教授 牛島 邦晴
	准教授 宮武 正明      教授 野口 昭治
	准教授 酒井 健一

## 論文内容の要旨

地球温暖化問題を背景に、自動車からの二酸化炭素排出削減が重要な課題になっており、その対策として電動化が急速に推進されている。2050 年までの市場予測では、電気モーターと内燃機関を動力源とするハイブリッド車が主流になると考えられており、内燃機関エンジンの更なる燃費向上が求められている。潤滑油による燃費低減の手法としては、主に低粘度化と低摩擦化による摩擦損失の低減がある。

ハイブリッド車で使用されるエンジンの場合、従来車と比較して、電気モーターを動力とした際にエンジンが停止するためにエンジン油温が上昇しにくくなるため、エンジン潤滑油温は低油温領域で動作することが多くなる。エンジン油の低温化は流体潤滑領域での摺動が増えることを意味することから、粘性抵抗低減のための低粘度化が寄与する割合はさらに増すことになる。低粘度化のニーズに対し、2013 年には SAE(米国自動車技術会)の J300 規格に低粘度油として 0W-16 が規格化され、2015 年に 0W-8 規格が追加された。さらに 2019 年には、0W-8 潤滑油の性能を規定した新しい JASO（社団法人自動車技術会の自動車規格組織）の GLV-1 規格が制定された。しかしながら、低粘度化は境界・混合潤滑状態への遷移をもたらすことから、単純な粘度のみの変更はエンジン性能を悪化させることになる。低油温条件の頻度が多いハイブリッド車のエンジンにおいても、高温状態での潤滑状態は存在するため、その信頼性を確保しつつ流体潤滑領域の粘性抵抗低減に必要な粘度設計が必要となる。

一方、エンジン油による低摩擦化技術に関しては、従来は、摩擦調整剤としてのモリブデンジチオカーバメート (MoDTC) の効果に大きく依存してきた。MoDTC は、高温で分解反応により二硫化モリブデンを生成することにより、低摩擦発現効果をもたらす。このため、エンジン油温が低い場合には、その効果が十分に発揮されない場合が多くなる。そこで、ハイブリッド車用エンジン油の摩擦調整剤としては、分解反応を必要とせず低温でも機能の発揮が期待される吸着型摩擦調整剤 (FM) の活用を着目した。これまで吸着型 FM には、オレイン酸やグリセリルモノオレート (GMO) に代表される低分子量タイプのものが一般によく使用されてきた。近年、油膜形成能を有しながら分子の設計自由度も高い高分子量タイプの吸着型 FM、すなわち、ポリマーFM(PFM)が着目されるようになった。PFM は、極性基を持つため表面に吸着しやすく、分子サイズが大きいため油膜形成能を持つとされる。ただし、ハイブリッド車用エンジンにおいてもシビアな運転条件は残るため、吸着型 FM のみで低摩擦化を実現することは困難である。そのため、MoDTC との併用が余儀なくされるが、MoDTC のような反応型 FM と吸着型 FM を併用した場合の、添加剤同士の相互作用については不明な点が多い。これまでの研究において、Guegen らは複数の FM 存在下での相乗効果と阻害効果について研究し、(1) 摩擦係数がいずれの摩擦より高くなる場合、(2) 摩擦係数がいずれの摩擦よりも低くなる場合、(3) 摩擦係数が両者の中間的な値をとる場合、(4) 摩擦係数がいずれかの一方と同じになる場合、の 4 つのケースに場合分けされることを示した。また、大久保らは、MoDTC と高分子 FM を併用すると、MoDTC 由来の MoS<sub>2</sub> 皮膜と MoDTC および高分子 FM 量分子から構成される高粘性の厚い吸着膜が生成されることによる相乗効果が発現することを明らかにした。添加剤同士の摩擦面における相互作用を考える上で、反応タイプ、吸着タイプ M のいずれの場合も、その初期段階である金属表面への吸着現象に着目する必要がある。また、実際の潤滑油を設計する場合は、添加剤同士の相互作用がそれぞれの添加濃度により変わってくるため、それぞれの添加剤の分子数の視点から定量的な議論必要になる。

以上より本研究では、“低燃費自動車のエンジンに使用する潤滑油を用いた摩擦低減”を目的として、特にエンジン油が低油温になるハイブリッド車を想定して、高温粘度を確保しつつ低粘度化する技術、反応型 FM と吸着型 FM 共存下の摩擦特性とその吸着特性について研究を行った。一連の研究成果をもとに、“低燃費自動車のエンジンに使用する潤滑油に必要とされる粘度設計とその効果、および、低温から高温にわたって効果を有する摩擦調整剤の摩擦特性と吸着特性からみた妥当性”を明らかとし、低燃費自動車のエンジンに使用する潤滑油の設計指針を構築するとともに、新たな高性能低燃費潤滑油の効果を検証した。

本論文の構成および概要は次の通りである。

第 1 章では、本研究の背景であるハイブリッド化の進展とそれに伴うエンジン油の潤滑条件の変化、それに適合するためのエンジン油の特性を粘度特性、および、摩擦特性の観点から説明し、本論文の構成と目的について、述べている。

第 2 章では、高温粘度を保持しつつ低温粘度を低減する超高粘度指数 (UHVI) コンセプトを提案し、ポリマー技術を用いて UHVI コンセプトを実現する試作油を評価する。その

上で、モータリング試験による燃費特性の検証を行い、UHVI コンセプトがハイブリッド用のオイルとして有望なことを検証する。

第3章では、反応型 FM と吸着型 FM と共存下における摩擦特性について、評価する。低分子吸着型 FM である GMO と高分子吸着型 FM である PFM それぞれについて、反応型 FM である MoDTC 共存下の摩擦特性を評価し、表面分析の結果と合わせて、FM 共存下の摩擦特性とそのメカニズムについて考察する。さらに、MoDTC の効果発現に不可欠な ZnDTP の摩擦特性、阻害特性への寄与を明らかにする。

第4章では、GMO、PFM、MoDTC、ZnDTP のそれぞれ単独の吸着特性、および、共存下の吸着特性について評価し、その摩擦特性におよぼす影響について、考察する。

第5章では、第1章から第4章までの概要について記述し、本論文を総括する。

以上の研究結果から、低燃費自動車のエンジンに使用する潤滑油、特に低油温状態になるハイブリッド車の低燃費化のための摩擦低減を実現するために、低粘度化技術として、UHVI 技術、低摩擦技術として、PFM と MoDTC と併用することにより、従来の高温での低摩擦特性、信頼性を保持したまま低温での低摩擦特性を実現可能なことを明らかにした。

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、学長からの審査付託を受けて、標記6名の審査委員で構成する審査委員会を組織し、提出された学位論文について審査を行った。

審査委員会においては、学位申請者から、学位論文の内容や前回審査における指摘事項の対応結果について説明させ、その後、質疑応答を実施することで、博士論文として満たすべき条件や必要な修正点を確認するという形式で進めた。

第1回審査では、学位申請者から学位論文の概要について説明を受け、主には次の点について審査委員から指摘した。申請者からの質疑応答の結果を踏まえて学位論文の修正を指示した。

- (1) 超高粘度指数(UHVI)コンセプトにおける高温側の効果検証結果について述べること
- (2) ポリマー型摩擦調整剤(PFM)の添加により、反応型摩擦調整剤の摩擦低減効果に遅れが見られる原因について述べること
- (3) 低燃費自動車のエンジンに使用する潤滑油に求められる性能を鑑みて、PFM と反応型摩擦調整剤を共存させたときの濃度に関する設計指針を述べること
- (4) 粘弾性モデルと Sauerbrey モデルのそれぞれの適用条件について述べること

第2回審査では、第1回審査における指摘事項の対応結果について説明があり、修正および追記内容について全体的な論旨の齟齬がないことを確認し、内容を承認した。

第3回審査では、公聴会を兼ねて実施し、これまでの審査での指摘事項を踏まえて修正した内容の発表を受けた。以下に審査委員会及び公聴会聴衆からの質問をまとめる。なお、これらの質問に対して学位申請者はすべて適切に回答し、質問者からの了解が得

られた。

- (1) UHVI 油の粘度特性と性能について
- (2) PFM の最適濃度の考え方とその一般性について
- (3) PFM の油中でのコンホメーションについて
- (4) PFM の存在が反応型 FM によって形成される反応膜の組成におよぼす影響について
- (5) PFM の摩擦試験に関するすべり率の影響について

以上により、本論文が博士（工学）の学位論文として、十分に価値あるものと認められる。