

論文要旨

区分	甲	氏名 竹田 雄祐
<p>論文題名</p> <p>電氣的接触抵抗法を用いた潤滑油の軸受接触面における流動状態の観測技術に関する基礎研究</p>		
<p>論文の要旨</p> <p>近年、世界では地球温暖化対策として温室効果ガスの排出削減や、持続可能な開発目標 SDGs への取組が続けられている。そのような中で自動車エンジンに対しては、さらなる高効率化と低排出ガス化が継続して必要とされている。その中で潤滑油のトライボロジー性能向上に対する要求も一段と増している。それは、低粘度化による機械損失の低減と摺動部への適切な油膜保持による摩擦・摩耗の抑制、加えて温度に影響されにくい安定した性能などがあり、潤滑油業界では低粘度かつ高性能な合成油や、粘度特性や耐摩耗性に優れた潤滑油や添加剤の研究、開発が進められている。</p> <p>しかしながら、より低粘度になるほど潤滑や密閉性という潤滑油本来の目的に対して性能を発揮することは困難となり、摩耗の増加や機械の耐久性が問題となる。一方で粘度が高すぎると潤滑油の粘性抵抗で機械損失は大きくなり、エネルギー損失は大きくなる。この相反する性能を高い次元で実現する必要があり、潤滑油業界では低粘度かつ高性能な合成油や、粘度特性や耐摩耗性に優れた潤滑油や添加剤の研究、開発が進められている。</p> <p>第 1 章では、地球環境保護など潤滑油に求められている状況と、潤滑油の開発状況について解説している。また、低粘度化した潤滑油は摺動面に形成する油膜が薄膜化することにより、その観測が難しくなる新たな問題に直面し、油膜を電氣的に観測する電氣的接触抵抗法 (Measurement for Electrical Contact Resistance, 以下 ECR と略す) を用いて潤滑油膜の電氣的な観測及び評価技術の確立と観測原理、観測能力を評価する研究目的を示した。第 2 章では、本論文で資料油として使用した潤滑油や、一般的に潤滑油を構成する成分や、各添加剤の効能について解説している。具体的には研究における基準油として、その動粘度帯によって高粘度(ギア油 VG320)、中粘度(エンジン油 5W-30)、低粘度(エンジン油 0W-16)、極低粘度(0W-8)と大きく 4 つの分類を行い、高粘度と中粘度潤滑油においては基準油と、メタロセン触媒を用いたポリ α オレフィン (mPAO) を添加したものを、低粘度潤滑油では、一般的に配合される粘度指数向上剤を mPAO に代替えたものを、極低粘度潤滑油においては一般的な鉱油と、石油由来の潤滑油の原料の違う潤滑油について比較評価していることを示した。第 3 章では ECR 観測原理について解説している。機械の摺動面や、転がり軸受の転動体と軌道面の間には潤滑油膜が形成される。軸受の接触表面粗さに対して油膜が潤沢に形成されている場合は流体潤滑となり、電気抵抗は無限大となる。一方で接触表面粗さよりも油膜が薄い場合では、軌道面と転動体が直接接触する境界潤滑となり電気抵抗は 0Ω となる。この電気抵抗の変化から軸受の印加電圧に対する観測電圧の比を分離度として評価している。また軸受の潤滑状態を判断するストライベック曲線についても解説している。</p>		

第4章では、潤滑油を構成する成分の違いが軸受の寿命に与える影響について、実際にスラスト玉軸受をフレーキング破損するまでの時間を観測する軸受寿命試験について解説している。その結果、基準油に mPAO を 10Vo%l 添加することで理論寿命時間に対して、VG320 においては 3.67 倍、中粘度 5W-30 では 25.4 倍の寿命延長効果を確認した。0W-16 と 0W-8 においても寿命性能を維持していることを確認した。第5章では、軸受寿命試験において軸受の状態監視技術として ECR 観測を用い、軸受破損に至るまでの過程で有次元の加速度上昇と、ECR 観測における分離度の低下時期が同時期であることを確認した。第6章では、高圧下における潤滑油の粘性について、観測に用いた落球式高圧粘度計について、その設計から観測原理までを解説し、各資料油の粘度圧力係数 α について確認した。第7章では、軸受の内外輪をオプティカルフラットガラスに置換、軸受における潤滑油膜を直接観察することができる、潤滑油膜可視化装置を用いて、各資料油の油膜を光学的に観測した。その結果、VG320 と 5W-30 では mPAO を添加することで、無次元化した油膜厚さが 1.30 倍と 1.32 倍になる事を確認した。また、0W-16 においては、新油と寿命試験後の潤滑油についても観測した結果、mPAO を含油することで油膜厚さの減少が認められず、長期間の使用が可能であることが期待される。0W-8 においては、油膜厚さの差を確認することが難しい結果であることを確認した。そこで第8章で、同じ潤滑油膜可視化装置に ECR 観測回路を用いて分離度を測定した。その結果、各資料油において、光学観測における無次元油膜厚さと分離度には一定の関係が確認でき、油膜評価の問題であった極低粘度潤滑油である 0W-8 においては印加電圧を 50mV から下げることで比較評価した2種類の資料油の差を確認している。各資料油を基準油のみと mPAO を含有するものに分けて、動粘度 ν と平均分離度 SR_{avg} の関係性について資料油の物性値を $I\nu$ と仮定したとき $SR_{avg}=(\log_e(\nu/1.8))/I\nu$ の一般式を提案した。

これらの研究結果から、電気的接触抵抗法を用いた潤滑油膜の軸受接触面における流動状態の観測技術と、その観測理論の仮説を検証し有効性を確認することができた。ECR 観測技術は、今後も低粘度化が進むと予測される潤滑油において、そのトライボロジー性能の性能評価のひとつとして貢献できることが期待される。