

自動車のパワートレーンの動向とトライボロジー

Trends of Powertrains in Vehicles and Contributions of Tribology

トヨタ自動車（正）*村上 元一

Motoichi Murakami*

*Toyota Motor Corporation

1. カーボンニュートラルに向けた自動車のパワートレーンの動向

カーボンニュートラル実現に向け、自動車用パワートレーンは電動化が急速に進んでいるが、電力供給、充電設備インフラなど課題も多い。そのため我々は複数のパワートレーンの選択肢を準備しておく必要があると考える。図1は、日本におけるLCA観点でのCO₂排出量比較⁽¹⁾である。本図は、HEVにおいて内燃機関の熱効率を向上させ、一部再生燃料を利用すればBEVに勝るCO₂排出低減も可能であること示唆している。BEVのみならず、内燃機関を含むパワートレーンの機械損失低減は今後も進めていくべき課題である。また合成油や水素などの燃料を利用した内燃機関も選択肢であり、これらのトライボロジー課題にも対応していく必要があると考える。

別の側面として、カーシェアリングなど車の使われ方が変化してきていることから、要素部品の寿命を正確に予測、または検知しメンテナンスコストを抑えるニーズも高まっている。産業界全体で考えても、SDGsの観点からメンテナンストライボロジーの役割が益々重要視されると思われる。

本報では、著者が所属する機関で実施した機械損失低減の取組み、また潤滑モニタリングの試みを紹介する。

2. パワートレーンの機械損失低減への取り組み

HEVやPHEVも重要なパワートレーンシステムの位置づけとなることから、これらのシステム効率化は今後も重要課題である。我々は、特に波及効果が大きい潤滑油による機械損失低減に注力している。

2.1 内燃機関用潤滑油による機械損失低減

将来油として高粘度指数エンジンオイル、フラット粘度オイルと称する潤滑油⁽²⁾を提案している。粘度特性を図2に示す。高温側のオイル粘度を0W-20または0W-16並みに維持したまま低温側の粘度を低下し、既に市販されている車両においても焼付などの信頼性懸念を排除した上で実用域の燃費向上を狙っている。特にHEVでは実用で低温領域の使用頻度が拡大するため効果は大きい。HEVの使用頻度を考慮して設定された試験法JASO M 366において、0W-8よりも最大0.2%燃費向上する結果を得ている。

フラット粘度オイルは、焼付や摩耗増の懸念は小さいものの、基油粘度を下げて粘度指数向上剤を増加させる仕様のためオイル消費増の懸念がある。現在オイル消費の指標としてNOACK(250°Cでの蒸発特性)の規格があるが、実用で250°Cまで高温となることはないため、オイル消費量の相関性は十分でない。そこで実用になるべく近くするため試験温度と蒸発速度計測期間を変更したMod.NOACK法を開発し提案した。図3に示すようにオイル消費との相関性が向上している。ここで前述した燃費効果は、Mod.NOACKにも配慮した上で得られた結果である。

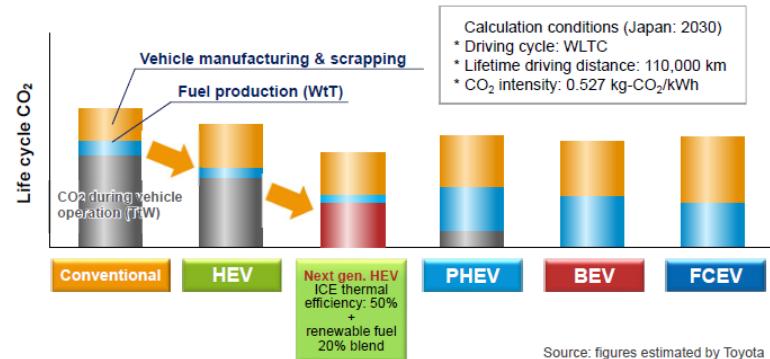


Fig. 1 Life cycle CO₂ estimation in Japan

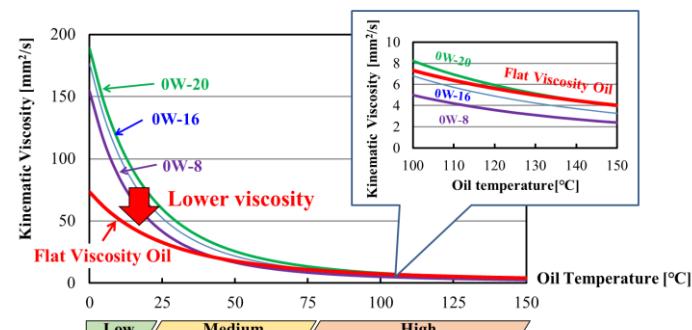


Fig. 2 Oil viscosity at each temperature

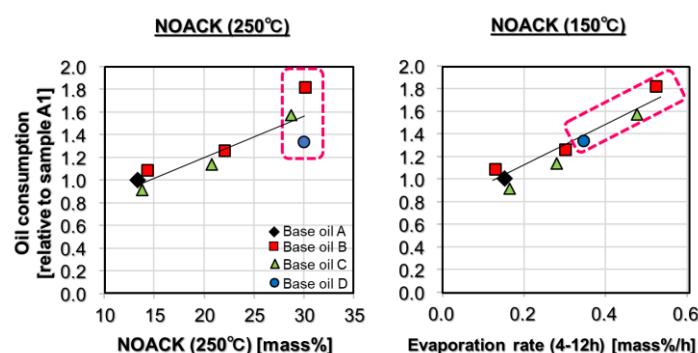


Fig. 3 Oil evaporation and consumption

2.2 HEV トランスアクスル油による機械損失低減

トランスアクスルにおいても内燃機関と同様に低粘度化の検討を進めている。従来油よりも50%の低粘度化を実現しながらユニット耐久性を満足する新規オイルを開発⁽³⁾した。WLTCモードで1%以上燃費が向上した。電動車ユニットに特化し摩耗防止剤、極圧剤、金属清浄剤などの添加剤を見直し、トライボ膜の保護性を向上させることに成功した。

図4 上段に耐久評価後のギヤの表面の様子を示す。

Trial oil_1に対し添加剤処方を見直したTrial oil_2はサンギヤ歯面にオイル焼けは見られない。追加したリン系摩耗防止剤により初期なじみが促進され、表面突起が早期になくなつたことで摩耗進行が抑制され、発熱量が低減しオイル焼けが改善されたと考える。同図下段に歯当たり端部の断面曲線を示すが、実際に摩耗段差も解消されていることがわかる。

ディファレンシャル差動耐久試験では、図5に示すデフケースボア部とドライブシャフト間で当初焼き付きが発生した。潤滑油導入のため油溝が設けられているが、逆回転の場合はボア/シャフト隙間の油が排出し油膜形成性が不十分となる。Trial oil_2はそのような貧潤滑環境においても焼付が発生せずに耐久評価を満足した。これは、追加した油膜形成ポリマーが低面圧かつ貧潤滑状態であった摺動部に残留することで有効に作用したためと推定している。

3. パワートレーンの潤滑状態モニタリングの試み

機械損失低減のため、各運動部品の小型化も有効な手段であるが、摩耗増、また焼付が懸念となる。しかし焼付に関して、これまで発生後の部品の様子、また直前の摩擦トルクや温度変化からその過程を推定するしかなく、現象解明には限界があった。そこで著者らの機関では内燃機関の滑り軸受を対象にAE(Acoustic Emission)センサによる焼き過程での潤滑状態のモニタリング⁽⁴⁾を試みた。AEセンサはアブレシブ摩耗、凝着など各潤滑状態で異なる周波数特性を示すことが知られている。ここでは軸受試験機にて焼付評価を実施、予めAEセンサ出力波形の特徴を捉え、その特徴が生じた時点で運転を停止し表面を観察することで焼付過程をより詳しく解明することに成功した。図6にAL凝着発生過程での表面の様子とAEセンサ出力の特徴を示す。図示しないがアブレシブ摩耗の様子も捉えられている。

本研究では滑り軸受を対象としたが、他の要素でも適用検討していく。近年、国内外にてAEセンサや加速度センサの出力信号を機械学習により解析する研究が盛んになりつつある。

4. まとめ

パワートレーン動向の見極めは困難であり、当面一つの選択肢に絞られることはなさそうである。可動部品が存在する限りトライボロジーは重要な役割を担う。機械損失低減のみならず自動車の使われ方の変化からメンテナンストライボロジにも今後着目すべきと考える。

文献

- 1) Toshifumi Takaoka: Toyota's Strategy for Zero Emission Mobility in the future, Hybrid and Electric Vehicle Technologies Symposium (2020)
- 2) Yamamori, K. et al.: Research on Ultra-High Viscosity Index Engine Oil: Part 1 SAE paper 2022-01-0525
- 3) Daisuke Tokozakura et al.: Development of transaxle fluid for electrification vehicles, SAE paper 2022-01-1103
- 4) 福井ら:エンジン用すべり軸受の焼付きプロセスにおけるAE信号変化, トライボロジ会議予稿集(2017)

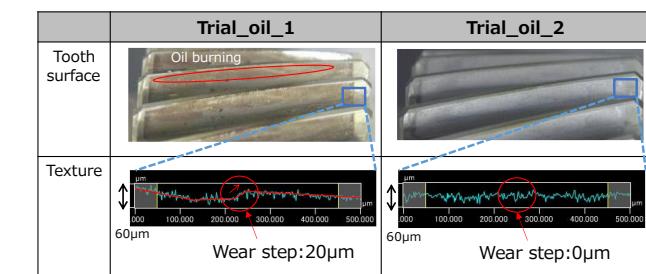


Fig. 4 Results of sun gear after high-speed durability test

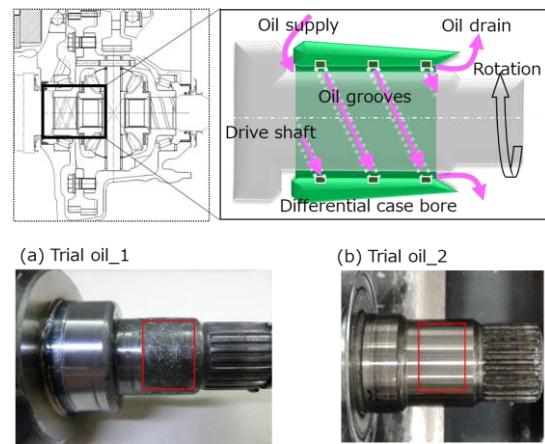


Fig. 5 Results of the differential durability test

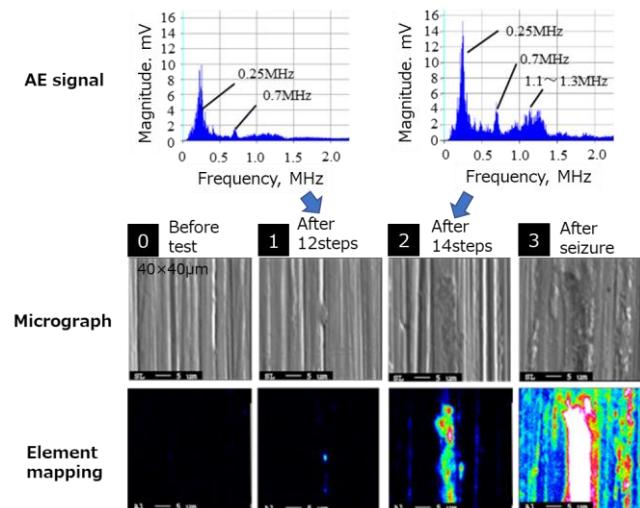


Fig. 6 AE sensor signals and AL adhesion