

AEを用いた潤滑下における DLC 膜の密着力評価方法の開発

Dynamic adhesion test method for DLC coated parts
under lubricated condition using AE

宇都宮大 *馬渕 豊（正），日産自動車 池原 賢亮（正），HORIBA 保田 芳輝（正）

Yutaka Mabuchi*, Kensuke Ikehara**, Yoshiteru Yasuda***

*Utsunomiya University, ** Nissan Motor Co., Ltd, ***HORIBA

1. はじめに

地球温暖化対策の一つとして自動車の CO₂ 排出量削減規制があり、潤滑下で低い摩擦係数を示す Diamond Like Carbon (DLC) 膜のエンジン部品への適用が進んでいる^{1,2)}。DLC 膜は、成膜の際に生じる内部応力が高いため、密着力の管理が重要である。著者らは Pin/Disk 試験機を用いて、DLC 膜剥離時の Acoustic Emission (AE) を検知する簡易的な密着力評価法の開発と標準化を進めてきた。

本評価手法の特徴は、エンジン部品で頻発する高負荷で生じる剥離現象の再現のため、成膜時に生じるドロップレット等の表面欠陥に対し鈍感となる、先端曲率の大きい 3/8in.の鋼球を圧子とした点と、無潤滑下での摩擦係数の変動や異物に対する感受性を、潤滑下の試験とすることで回避した点であり、AE のみによる膜の剥離検知を可能とした点である。また、汎用の摩擦試験機に AE センサ類のみで実現可能なため、導入の敷居が低い点も特徴である。

本報では試験方法の概略と、DLC 膜の剥離検知について紹介する。また実際の運用として、利用者は評価にあたり適用先の相手部材や油種を用いる場合が想定されるため、それらの影響を解析し補正・比較する手法を紹介する。

2. 実験方法

本試験法の構成をFig.1に示す。潤滑下で摩擦特性を評価できるPin/Disk型試験機を用いる。Pinに3/8in.のベアリング用鋼球を3個固定して用いる。ボールを固定した治具経由で、相対するDLC膜を成膜したディスクに荷重が負荷される。ディスクを支持する治具が所定の回転数で回転する。試験部は温調機能付きのオイルバス中の潤滑油に浸漬され、ディスク上にDLC膜が剥離する際に発生する弾性波を、ボール固定治具上に設置したAEセンサにより捕捉する。Fig.2に示すように、試験は10kgf毎に10秒間保持するステップ荷重で負荷され、AEの波数が急増した点をもって剥離発生荷重と判定する。本報告では標準的な密着力評価試験に加え、油種の影響として100°C動粘度4cstおよび8cstの基油Polyalphaolefin (PAO4, PAO8)，それに1wt%のglycerol mono-oleate (GMO) を加えたPAO-GMO, ZnDTPを含む市販0W20エンジン油，これにMoDTCを添加したMoDTC添加油の計6油種を用意し、更に相手材の影響として窒化ケイ素製ボールを用い、比較評価を行った。試験条件は、回転数30rpm(0.028m/s)，油温80°Cとした。DLC膜はIP法によるta-C, CVD法によるa-C:H, a-C:H/WC積層膜を用い、油種や相手材の影響評価ではta-C膜固定とした。

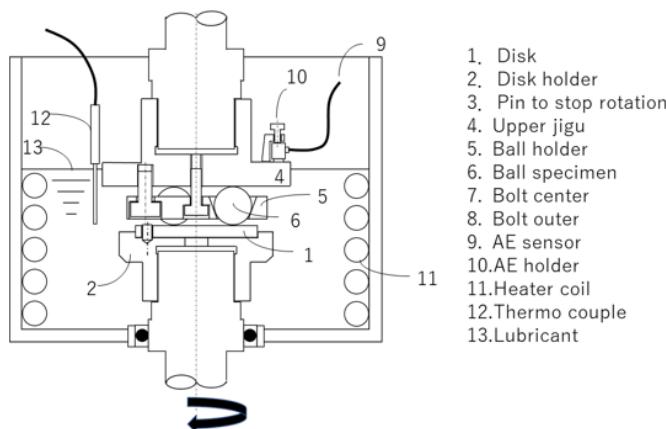


Fig. 1 Schematic of test equipment.

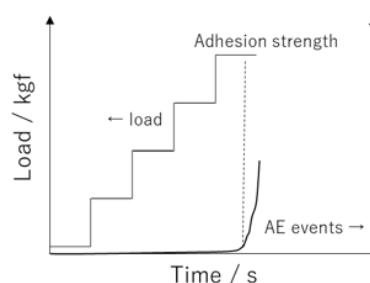


Fig. 2 Step load diagram with AE events.

3. 実験結果

3.1 Pin/Disk 試験での剥離検知

Fig.3 に ta-C 膜での試験結果を示す。試験中の AE の振幅は、荷重がある値に達した時点から小振幅を示し、やがて巨視的な大振幅に移行する。同一仕様の試験片を用いて、小振幅が開始する点で試験を止めて、試料を観察した結果を Fig.3 中央に、またその拡大写真を右図に示す。小振幅が開始した時点で摺動部の端部にて剥離の発生を確認し、ま

た AE のイベント数が急激に増加する点とも一致した。以上のことから本評価方法は微小な剥離が発生した時点で検知可能な手法と言える。

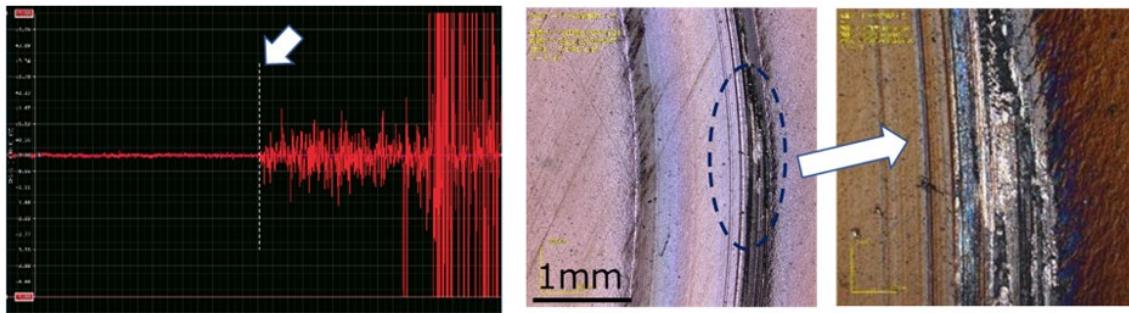


Fig.3 Change of AE amplitude and photographs at the beginning of the amplitude during the test.

3.2 油種及び相手材の影響

異なる油種及び相手材での評価結果を Fig.6 に示す。鋼ボールでは ZnDTP や MoDTC 添加油で高い値を示す一方、窒化ケイ素では油種の影響はほとんどなく、低い値を示した。試験後の鋼ボールの形状測定と粗さ測定を行った結果、ZnDTP や MoDTC を含む場合、いずれも接点の摩耗による曲率の増大が認められ、かつ平滑化が進んでいた。摩耗に伴う形状変化や粗さ変化は潤滑状態に影響する。そこで剥離発生荷重について、膜厚比 Λ を用いて整理した結果、 Λ と剥離発生荷重の間に良い相関関係が認められた (Fig.5)。特に油種の影響は潤滑状態への影響として反映されていると考えられる。このことは、試験後の相手材の摩耗 (曲率)、表面粗ささえ分かれば剥離発生荷重を推定できることを意味しており、油種や相手材を越えた密着力の比較が可能であることを示唆している。Fig.6 は、相手材のヤング率及びボール接点の曲率を変えた場合の最小油膜厚さ h を算出した (図中点線) 図で、これに加え表面粗さを測定すれば、 Λ が算出できる。これと Fig.5 の相関関係から剥離荷重を推定し、異なる摺動条件下の結果が比較可能となる⁴⁾。

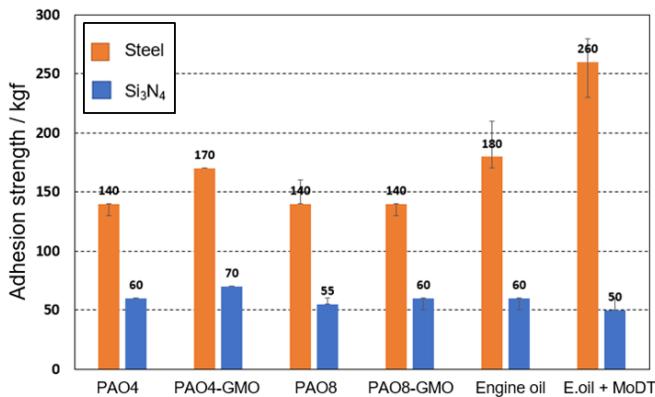


Fig.4 Pin/disk test results of various test combination between different oils and different mated balls.

4. まとめ

Pin/Disk試験機、AEセンサを用いて DLC 膜の密着力試験を行い、以下の結果を得た。

- (1) Pin/Disk試験による結果は、実部品を用いた単体試験での結果と良い相関を示し、AEセンサによる剥離検知は、膜の微小剥離の段階で検知可能である。
- (2) 異なる油種や相手材において、試験後の Λ 値と剥離発生荷重の間に良い相関が認められた。

5. 参考文献

- 1) Yutaka Mabuchi, et. al, SAE 2007-01-1752.
- 2) Tsuyoshi Higuchi, et. al, Tribology Online 12(3):117-122.
- 3) 馬渕豊, 池原賢亮, 表面技術, 71巻9号, p551-554.
- 4) Yizhi Feng ら, トライボロジー会議 2022 春, 予稿集, C11, p132-133.

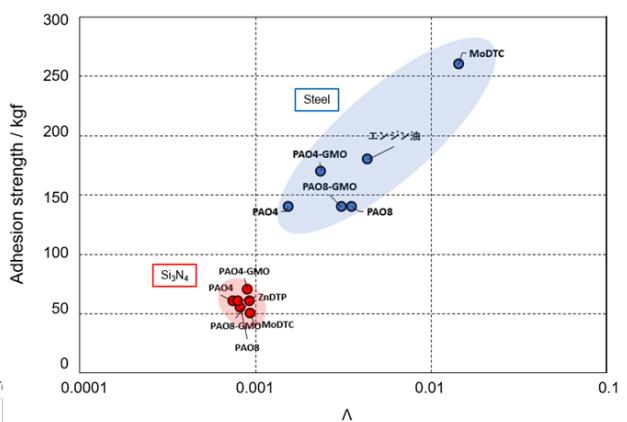


Fig.5 Adhesion strength of ta-C plotted by Λ .

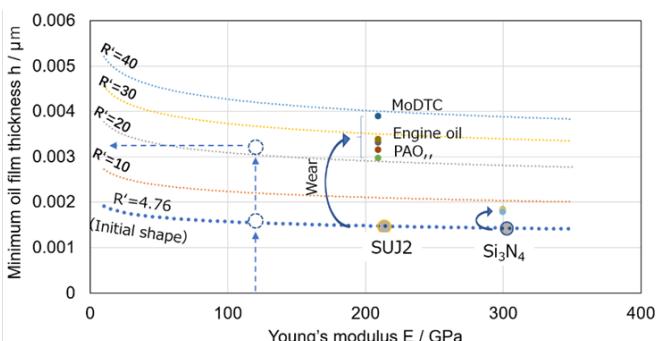


Fig.6 Relationship between Young's modulus of mated material and contact curvature and minimum oil film thickness.