

## Diamond Like Carbon 膜の密着力評価方法を国際規格化

～汎用的な摩擦試験機に AE センサを組合せることで評価が可能に～

### 【発表のポイント】

- ・摩擦係数の低いDiamond Like Carbon (DLC) 膜の信頼性確保に密着力の管理が重要である。
- ・既存の評価法は実部品での試験結果との相関が不十分で、研究・開発時の課題であった。
- ・汎用的な摩擦試験機に、DLC 膜の剥離を検知するアコースティックエミッション (AE) センサを加えることで、実部品と相関のある密着力を計測できる簡易的な評価方法を開発した。

### ■概要

宇都宮大学工学部の馬淵豊教授は、2018 年から日産自動車(株)と共同で” AE を用いた潤滑下の DLC 膜の密着力評価方法” の研究開発に取り組んでいる。本評価方法は DLC 膜の研究開発や部品適用に有用なため、本成果を基に、日本機械学会 ISO/TC123 (平軸受け) を通じて国際規格 (ISO) 化の提案を進めてきた。TC123 国際会議での審議を経て承認が得られ、2022 年 5 月 18 日に ISO 4821 として発行された。本研究成果の概要は、下記の[論文・記事情報]に記載の 5 誌にて公開されている。

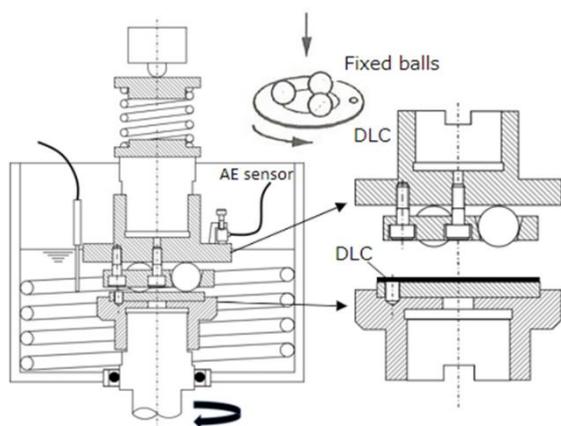


図 1 ball on disk 摩擦試験機



図 2 DLC 膜とボール支持治具、AE センサの写真

### ■研究の背景

DLC 膜は、高い硬度や低い摩擦係数により、機械における摩擦損失の低減や摩耗の軽減、焼付きの防止に有効であり、近年様々な分野で適用が進み、特に自動車からの CO<sub>2</sub> 排出量削減の手段として注目されている。しかしながら、適用に際しては成膜対象の状態 (材料、清

浄度) や使用環境により、膜の信頼性に課題の生じる場合がある。従来の密着力を評価する手法として、引っ掻き試験やロックウエル圧痕試験があるものの、実際に使用される使用環境や負荷条件と大きく異なるため、相関の得られない場合も多く、DLC 膜の研究・開発を迅速に進める上でのネックとなっていた。

### ■開発した評価方法

本評価方法の特徴は、オイルバスを備えた汎用的な摩擦試験機に、膜が剥離する際に生じる弾性波を検知するためのアコースティックエミッション (AE) センサとアンプを加えたシンプルな構成であり、わずかな投資で対応できる点にある。装置の概要を図 1 に示す。試験装置の主要部は、DLC 膜を成膜した基材を支持する治具、DLC 膜を摺動する 3 個のボールとそれらを締結、支持する治具、そして DLC 膜の剥離時の弾性波を検知する AE センサで構成される。荷重はステップ状で負荷され、AE のカウント数が急増した点をもって剥離発生荷重 (=膜の密着力) と判定する。

### ■研究開発の成果

従来、エンジン評価では長時間の耐久試験により信頼性の確認を行っているが、図 3 に示すように、エンジン部品を用いた評価と、開発した密着力評価法の結果は良い相関を示し、代替評価が可能であることを示している。また実部品の仕様上の制約から対応のできなかった 1 ギガパスカル以上の高面圧領域においても評価が可能であることを示している。

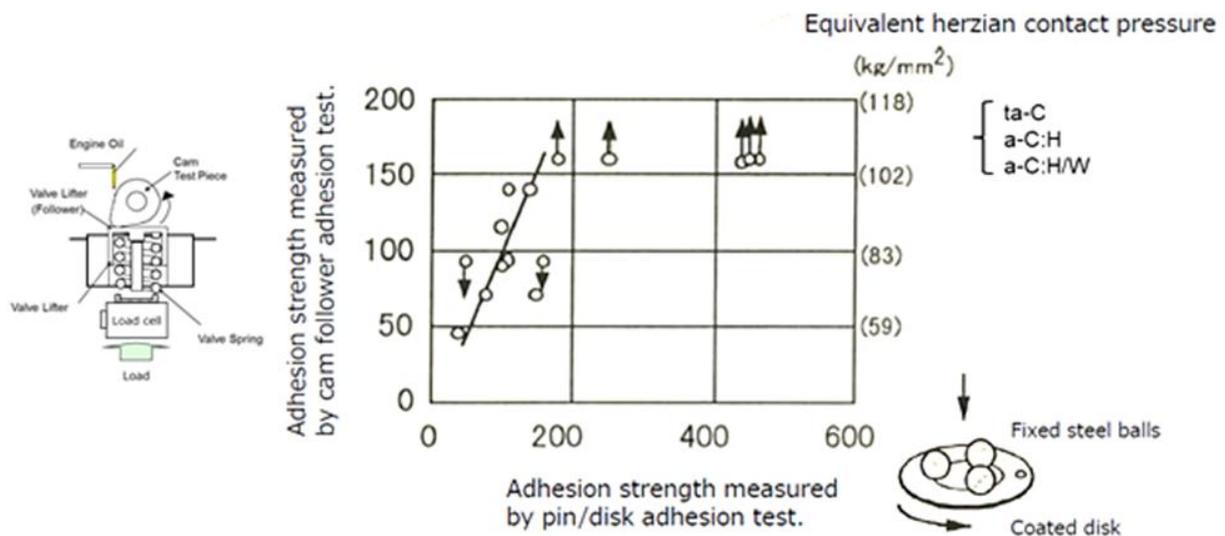


図 3 実部品を用いた密着力評価結果と Ball/Disk 型の密着力評価結果の比較

### ■今後の展望 (研究のインパクトや波及効果など)

本試験法は、専用の設備を必要とせず、比較的安価な投資で対応可能な手法である。また潤滑下での評価のため、摩耗粉や異物等の巻き込みや湿度の影響を気にせず、更に無潤滑下に比べて摩擦係数が低くなることから摩擦により発生する応力の影響も抑えられる等、メリットが多い。更なる付加価値として、得られた AE の周波数解析により膜の剥離要因を推定する手法を開発中であり、ユーザーにとってより便利なツールとなるよう引き続き検討を進める。

### ■論文・解説記事

1) Yutaka Mabuchi<sup>1</sup>, Mikiya Yatagai, Kensuke Ikehara, Makoto Kobayashi and Asajima Hiroki, "Effect of additives in lubricating oil on the adhesion of DLC film",

IGSIF, 3rd (2021) p44-47.

2) 馬渕 豊, ”ピンオンディスク試験機による潤滑下のDLC膜の密着力評価と標準化”, メカニカルサーフェステック 2020年12月号, p31-33.

3) 馬渕 豊, 池原 賢亮, ”AEを用いた潤滑下におけるDLC膜の密着力評価試験方法のISO規格化”, 表面技術 第71巻9号, p551-554.

4) 馬渕 豊, ”DLC膜の密着力評価と標準化”, 潤滑経済 2021年12月号, p1-6.

5) 馬渕 豊, ”潤滑下におけるDLC膜の密着力評価方法”, 月間トライボロジー 2021年1月号 (No. 401), p16-19.

## ■用語説明

注1 Diamond Like Carbon (DLC) 膜: 真空中で炭素原子を飛来させて成膜し、ダイヤモンドに近い硬さの膜が得られる。既にエンジン部品や髭剃り、工具類等に適用され始めている。

注2 アコースティックエミッション (AE): 材料中に亀裂が進展する際に生じる弾性波のことで、専用のセンサにより捕捉が可能であり、プラント等での故障判断に用いられている。

注3 Pin/Disk 摩擦試験機: 回転するディスクにある荷重でピンを押し付け、その際に生じる摩擦力を計測する試験装置。摩擦係数や摩耗量の評価方法として汎用的に用いられている。

## ■英文概要

The reduction of the CO<sub>2</sub> emissions against global warming is big issue for automobile industries. One of the key technologies to solve this subject is the application of Diamond like carbon (DLC) film to engine components and is widely spreading. Since the adhesion of the DLC film depends on the cleanliness of the interface and the internal stress during film formation, it is important to control it under the manufacturing process. However, existing adhesion evaluation methods such as scratch test and Rockwell indentation test, there are cases where no correlation can be obtained because it differs greatly from the usage environment of actual parts and load conditions. Therefore, the authors have established a simple method for evaluating the adhesion by using a Ball / Disk type friction tester under the lubricated condition. During the test, the acoustic emission (AE) method was used to detect the elastic waves generated when the DLC film peels off, making it possible to detect even the slightest occurrence of peeling.

### 本件に関する問い合わせ

(研究内容について)

国立大学法人 宇都宮大学 学術院 教授 馬渕 豊

TEL/Fax : 028-689-6079 E-mail : [y-mabuchi@cc.utsunomiya-u.ac.jp](mailto:y-mabuchi@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

(報道対応)

国立大学法人 宇都宮大学 広報室 (広報係)

TEL : 028-649-5201 FAX : 028-649-5026 E-mail : [kkouhou@miya.jm.utsunomiya-u.ac.jp](mailto:kkouhou@miya.jm.utsunomiya-u.ac.jp)