

# DLC クラッチプレートの摩擦特性

## Friction behavior of DLC clutch plate

株式会社本田技術研究所・四輪 R&D センター (正) \*吉田 聡 (非) 小川 和美 (非) 高橋 篤

日本アイ・ティ・エフ (株) (正) 三宅 浩二 (非) 西海 良平

Satoshi Yoshida\*, Kazumi Ogawa\*, Atsushi Takahashi\*, Koji Miyake\*\*, Ryouhei Nishiumi\*\*

\*Honda R&D Co., Ltd. Automobile R&D Center \*\*NIPPON ITF, INC

### 1. はじめに

DLC 膜は高硬度でかつ平滑な表面性状を有する為、多くのしゅう動部位の耐摩擦向上及び摩擦低減目的に適用されている。また、湿式クラッチに代表される多孔質材料とのしゅう動に適用した場合は摩擦係数が逆に上昇する事が知られており<sup>1)</sup>、湿式クラッチの性能向上手法として期待されている。しかしながら、DLC 膜の膜質、構造とクラッチ摩擦特性に言及した報告例は少なくメカニズムは未解明である。そこで、我々は DLC 成膜時のパラメータを変化させ膜質の異なる DLC 膜を作成しクラッチ特性との関係について解析を行った。

### 2. DLC の仕様

クラッチプレート (ワーク) に多量に安価な DLC 膜を成膜するには複雑形状部位への着き回り性の良い製法が必要である。そこで、本研究ではワークを複数枚積層しワーク自体に DC パルス電圧を印加して自己放電プラズマを発生させる手法に着目し検討を行なった。DLC 膜質は原料ガスの種類、ガス組成比、ガス圧等のパラメータを変化させ制御した。また、DLC 膜はラマン分光法による炭素構造解析、ナノインデント等による硬度の把握、そして触針式表面粗さ計による面粗度測定評価を行ない DLC 膜質の解析パラメータとした。

### 3. クラッチ性能試験

#### 3.1. 摩擦材

四輪車用クラッチ湿式摩擦材として適用されている材質にはアラミドファイバーとセルローズファイバーを主体としたアラミドセルローズ系摩擦材とアラミドファイバーとカーボンファイバーを主体としたアラミドカーボン系摩擦材が適用されている。両者は要求される耐熱性や耐面圧性により使い分けられている。本研究では最も広く適用されているアラミドセルローズ系摩擦材を中心に検討を行った。

#### 3.2. 駆動油

駆動油の選定は湿式クラッチの性能に大きく影響し、使用されるトランスミッション構造により使い分けられている。例えばプラネタリータイプのトランスミッションでは構造上クラッチ係合時の振動を比較的伝達しにくいので静  $\mu$  を重視したタイプの駆動油を選択する。一方、平行軸や DCT 構造のトランスミッションには  $\mu$  波形 ( $\mu_0/\mu_d$ ) を重視した駆動油を選択するのが一般的である。本解析では、 $\mu$  波形を重視したタイプの駆動油にて解析を行った。

#### 3.3. クラッチ試験条件

クラッチ性能試験は SAE No. 2 試験機により実施した。性能試験はドラッグ試験にてクラッチ容量設定の指標であ

る極低回転時の摩擦係数 ( $\mu_s$ ) を測定した。また、インナーシャー試験にてクラッチ係合時の摩擦係数の動的挙動を計測した。本解析では回転速度 1200r/min 時の摩擦係数を  $\mu_d$ 、回転速度 200 r/min 時の摩擦係数を  $\mu_0$  と定義し、その比である  $\mu_0/\mu_d$  をクラッチ係合時の  $\mu$  波形を表す指標とした。

### 4. DLC 膜質とクラッチ性能の解析

DLC 膜質の解析パラメータと各回転速度での摩擦係数間の相関係数 ( $r^2$ ) を Fig. 1 に整理した。その結果、摩擦係数と DLC 膜硬度を示すパラメータ (ヌープ硬度、G バンド半値幅、ナノインデント硬度等) との相関が大きい事がわかった。そこで、DLC 膜硬度と各種クラッチ性能の関係について特に着目し解析を行った。DLC 膜硬度と  $\mu_s$  の関係について Fig. 2 に示す。原料ガスによらず DLC 膜硬度が高い程  $\mu_s$  が上昇している事がわかる。また、DLC 種別ではテトラメチルシラン (TMS) を原料とした DLC 膜 (a-C:H(Si) 膜) はメタン、アセチレン、シクロヘキサンを原料とした DLC 膜 (a-C:H 膜) と比べて  $\mu_s$  が低下している。次に相手材摩擦量への影響について Fig. 3 に整理した。a-C:H 膜においてはメタンを原料とした DLC 膜はアセチレンを原料とした DLC 膜と比較して相手材摩擦量が少ない。また、a-C:H(Si) 膜は a-C:H 膜と比較して大幅に相手材摩擦量を低減可能である事がわかった。なお、摩擦材種による差異を確認する為に、摩擦材をアラミドカーボン系に変更して確認を行なった。その結果を Fig. 2、3 に追記したが、DLC 膜硬度とクラッチ性能の関係は摩擦材による差異はなかった。一方、アラミドカーボン系摩擦材の適用により摩擦材摩擦量を大幅に低減できる事がわかった。

### 5. DLC クラッチプレートの効果

本解析に用いた DLC 膜のクラッチとしての効果を明確とする為に  $\mu_0/\mu_d$  と  $\mu_s$  にて整理した (Fig. 4)。ここでは他のクラッチ性能向上手法である駆動油と摩擦材の選択で得られるライン (トレンドライン) との比較を行なった。つまり、トレンドラインから右上方向に解離しているもの程、技術的に価値がある事になる。その結果、メタン及び TMS を原料とする DLC は変速商品性 ( $\mu_0/\mu_d$ ) を維持しながらクラッチ容量 ( $\mu_s$ ) を約 20% 向上できる事がわかった。また、アラミドカーボン系摩擦材との組合せでは  $\mu_s$  は低いものの  $\mu_0/\mu_d$  を大幅に向上可能である事がわかった。

### 6. トライボ現象解析

原料ガス種によるクラッチ性能の差異を解析する為に DLC 膜の表面形態観察を原子間力顕微鏡 (AFM) により実

施した。a-C:H 膜においてはアセチレンとシクロヘキサンを原料とした DLC 膜は粒状塊が多く AFM レベルでみると面が粗い。それに対してメタンを原料とした DLC 膜は AFM レベルでも非常に滑らかな表面を有している。このマイクロ表面凹凸の違いが  $\mu s$  や相手材摩耗性の違いとなっていると考えられる。一方 a-C:H(Si) 膜が低い相手材摩耗性を示す事に関しては表面形態のみでは説明できない。そこで、DLC 表面に形成されたトライボフィルムの分析を TOF-SIMS により実施した。表面分析はクラッチ性能試験前後の DLC 膜について実施し、測定されたフラグメントイオンの試験前後での強度変化率に着目して整理した。その結果を Fig.5 に示す。それによると a-C:H 膜では大きな強度変化が観測されなかったのに対して、a-C:H(Si) 膜では幅広くイオン量の変化が見られた。つま

り、a-C:H 膜ではオイル添加剤によるトライボフィルムの生成が少ないのに対して、a-C:H(Si) 膜ではトライボフィルムの生成が顕著に見られる事がわかった。このことからトライボメカニズムを考察すると、a-C:H 膜では DLC 膜上にトライボフィルムが存在しにくい為摩擦材と DLC 膜との直接接触になりやすいと推定される。一方、a-C:H(Si) 膜ではトライボフィルムを介した摩擦材との接触になりやすいと推定できる。この事が a-C:H(Si) 膜が示す  $\mu s$  低下、相手材摩耗量低下といったクラッチ性能上の特徴に繋がると結論付けられる。

## 7. まとめ

アラミドセルローズ系摩擦材との組合せにおいて、DLC 膜硬度とクラッチ性能間に強い相関関係がある事がわかった。また、DLC 成膜時の原料ガス種類により DLC 膜の表面形態や駆動油中添加剤の吸着形態が変化しクラッチ性能に影響を与える事がわかった。また、アラミドカーボン系摩擦材との組合せにおいて、摩擦材摩耗量と変速商品性 ( $\mu 0/\mu d$ ) を大幅に向上可能である事がわかった。

## 文献

- 1) Satoshi Yoshida, WTC2009 Proceedings J-412, P915.
- 2) 吉田・小森: トライボロジー会議予稿集(東京 2010-5) B5, 87-88.
- 3) Non-destructive Characterisation of Carbon Films, A.C. Ferrari; Tribology of Diamond-Like Carbon Films (eds) C. Donnet, A. Erdemir, P25-P82, 2008

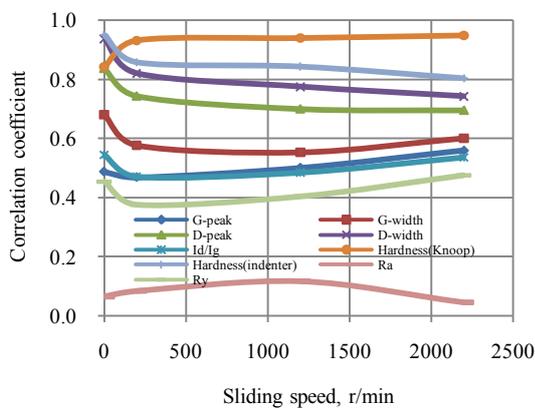


Fig.1 Correlation coefficient between DLC's analysis factors and C.O.F @CH4

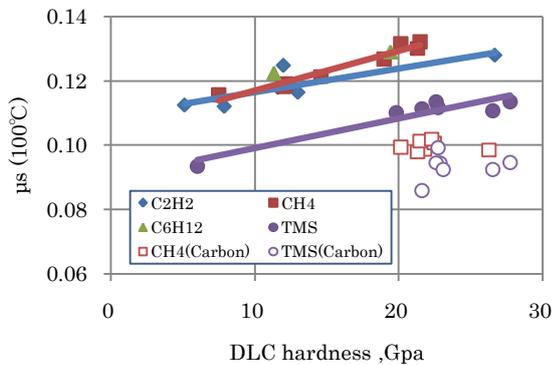


Fig.2 Relationship between DLC hardness and  $\mu s$

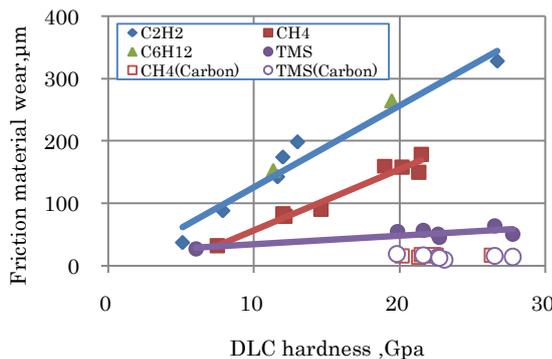


Fig.3 Relationship between DLC hardness and wear

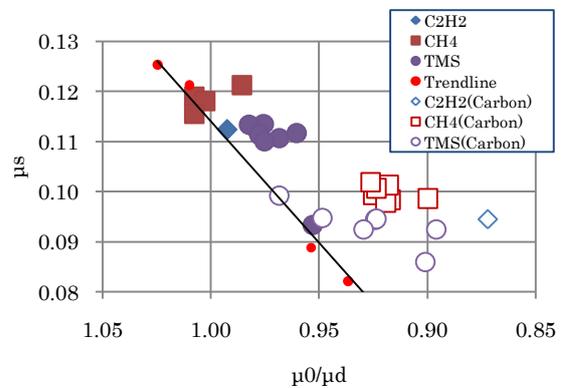


Fig.4 Clutch performance positioning of DLC clutch plate

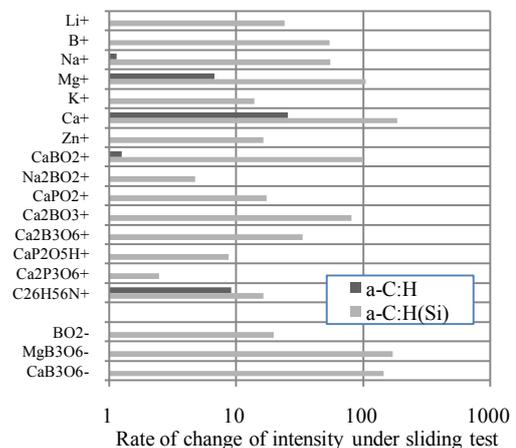


Fig.5 TOF SIMS analysis on the surface of DLC