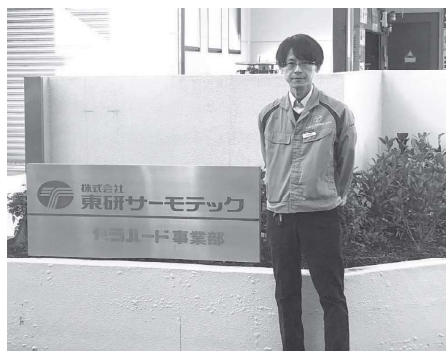


DLCコーティングの 特性を活用した新分野への展開

(株)東研サーモテック セラハード副事業部長 先行開発室長 高橋 顕 氏に聞く



1. 事業の概要

当社は1909年の創業以来、熱処理専門企業として、自動車分野をはじめとするものづくり企業とともにさまざまな技術開発に取り組んできた。1986年にはセラハード事業部を新設し、いち早くDLCコーティングをはじめとするドライコーティングの事業を開始している(表紙2広告参照)。

2018年には当社売上の比率が熱処理事業85%、ドライコーティング事業15%程度だったのに対し、2023年には事業規模が拡大しつつ熱処理事業が80%程度、ドライコーティング事業が20%程度と、わずか5年間を見てもDLCを中心とするドライコーティングへの需要は確実に高まっており、ドライコーティング事業の適用分野、適用製品を拡大してきている。

自動車業界が100年に一度の大変革を迎えている中で、全売上の8割程度が自動車向けである熱処理事業に対して拡張性が見極めが不透明な状況にあることから、熱処理事業の収益は維持しながらも生産拠点を集約、その空いたスペースで新分野開拓の鍵を握るドライコーティングの先行開発を推し進め、新規提案ができる体制を構築する方針を固めている。ドライコーティングに注力し事業

を拡張していくことで、将来的には熱処理事業とドライコーティング事業の割合が1:1となる見通しも出ている。2024年1月からは、ユーザーとともにアプリケーションに適したDLC膜などを開発し共同で実験できるスペース「オープンイノベーションセンター(仮称)」を東住吉工場内に新設し、先行開発したDLCなどドライコーティングの情報を強力に発信していく計画としている。

2. DLCコーティングの適用用途

当社ドライコーティング事業の内、8割がDLCコーティング、2割がその他PVDコーティングを占める。国内シェアトップクラスのDLCコーティングの用途としては特に摺動特性が重視される自動車、機械部品、切削工具の順に採用され、PVDコーティングの用途としては切削工具、金型、機械部品と続く。

当社のDLCコーティングは大まかに分けても金属含有DLC(Me-DLC)、水素含有DLC(a-C:H)、水素フリーDLC(ta-C)があり、そのレシピは100種類以上に及ぶ。つまり、例えば摺動部品にはより低摩擦、治工具類にはより高硬度なDLCを提案するなど、ユーザーの用途に合わせてきめ細かくチューニングしたDLCコーティングを提供している。

自動車部品でもDLCコーティングはエンジン部品からパワートレイン部品まで幅広く採用されている。EVでもモーター、シャフト、バルブ、シール、電極などDLCが活躍できる部品群は多いが、内燃機関(ICE)車に比べるとどうしても部品点数は減ってしまう。そういった市場変動の状況で、電動化シフトに対応

しつつDLCコーティングの適用を広げドライコーティング事業を拡大していくには、現状でDLCコーティングが対応していない、採用されていない分野や部品での適用を広げていかなければならない。それには、DLCコーティングの最大の特徴であるトライボロジー特性、摺動特性の改善が、いかにその特性を向上できるのかをメーカーにあらためて広く訴求する必要がある。

3. DLCコーティングが摺動特性を改善できるメカニズム

DLCコーティングを被覆することで摩擦係数が下がることはよく知られているが、教科書やカタログではこの摩擦係数を動摩擦力で示していることが少なくない。しかし、高圧・高速下での摺動部品では正転・逆転を繰り返すアプリケーションが多く、たとえ一瞬でも速度ゼロになるポイントがあり、動き出しの摩擦係数が最大値を示す。この摩擦力のピークが静摩擦力であり、一般的に議論される動摩擦力の倍近くに及ぶため、摺動部品の寿命には静摩擦力を十分検討することが重要である。

これに対し、DLCコーティングを成膜した摺動部品は動摩擦力を著しく下げただけでなく、静摩擦力を動摩擦力と同等にまで低減する効果が我々の長年の実験において実証されている(図1、表1、表2、図2~図6)。

このことは、DLCコーティングを処理することによって、さまざまな部品において設計以上のダウンサイジング化や長寿命化が可能になることを意味し、部品設計における選択肢が増えることになる。自動車の電動化においてもバッテ

リー寿命延長、走行距離延長の観点から設計する機構のモジュールを小さくしたいとのニーズもあり、ここでも DLC コーティングを処理することによる効果が期待されている。

自動車部品だけでなく大面圧が負荷される機械構成部品などでも、静摩擦力は想定以上の摩耗進行の起因となる場合が多く、DLC コーティングによる静摩

擦力のピークを抑制する効果は部材の長寿命化とエネルギーロス低減に貢献できる。DLC コーティングが境界潤滑領域で効果があることは知られているものの、基本に立ち返って実際に実験しデータとして提示できるようにしたことで、現時点で DLC コーティングが採用されていないアプリケーションにもメリットを広く提案していきたい。

4. DLCコーティング関連の新たな取り組み

a-C:H の適用は成熟期にあり着地点に近いところにあるように感じている。高機能化ではさまざまな使用環境に適した金属元素や含有量を調整した Me-DLC、さらには水素フリー DLC に代表される ta-C は高硬度で耐摩耗性が高く

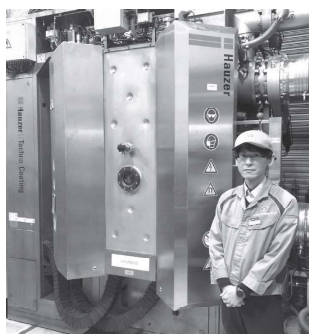


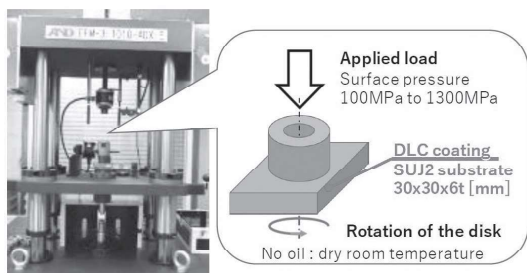
図1 試験に供した4種のDLCサンプルを成膜したHauzer Techno Coating 製成膜装置「Flexicoat[®] 1200」

表1 4種のDLC評価サンプルと硬度：硬度は島津製作所製ナノインデント「DUH 211」で計測

DLC成膜サンプル	硬度
高硬度ta-C	60.3GPa
低硬度ta-C	30.1GPa
高硬度a-C:H	27.0GPa
低硬度a-C:H	20.4GPa

表2 基材および各DLC評価サンプルの研磨後の表面粗さ(R_{pk})：表面粗さはオリンパス製レーザーマイクロスコープ「OLS 4100」で計測

基材および各DLCサンプル	表面粗さR _{pk} (μm)
基材	0.040
低硬度a-C:H	0.048
高硬度a-C:H	0.052
低硬度ta-C	0.060
高硬度ta-C	0.056



	Rotation speed [rpm]	Sliding speed [m/sec]	test time [sec]
acceleration	0 to 100	0 to 0.1	10
constant speed	100	0.1	5
deceleration	100 to 0	0.1 to 0	10

図2 各DLC評価サンプルの試験評価方法：各DLC評価サンプルの摺動特性はオリエンテック製スラストシリンダー摩擦摩耗試験機「EFM 31010」で試験評価。試験は各荷重レベルにて10回繰り返し実施して得られた平均静摩擦係数/動摩擦係数で評価

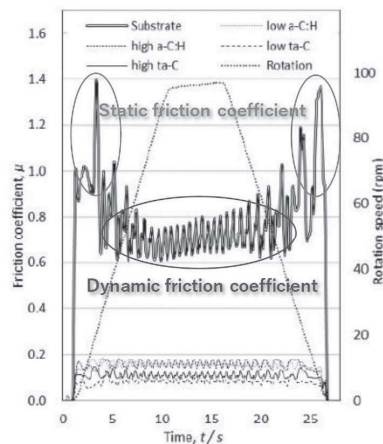


図3 面圧100MPaでの静/動摩擦係数

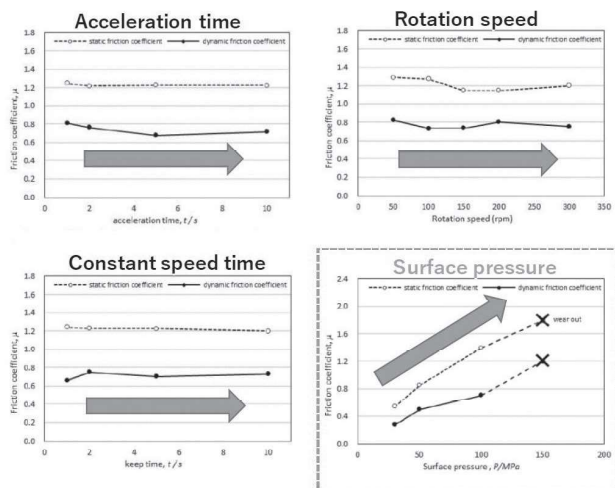


図4 DLC未処理時の各試験条件での静/動摩擦係数の変化：左上は加速条件、左下は定速条件、右上は回転速度条件、右下は面圧条件

長寿命化が期待される。しかしながら、成膜レートの遅さから厚膜化が難しく、また表面粗さの問題から研磨工程が必要になるなど高コストといった課題がある。こういったDLCの一般的な成膜法であるスパッタリング、アーク（フィルタード）PVDが市場のニーズにマッチしているとは言えない状況にある。

そこで当社では新しい着眼点での成膜法の模索を始めており、マイクロ波を利用するなどした成膜レートが高く平滑度の高いプロセスの開発などを進めている。

5. ダイヤモンドコーティングの開発

上述のとおりユーザーニーズに合わせて適材適所で100種に及ぶレシピでさまざまな成膜手法によるDLC膜を提供しているものの、それぞれの膜がカバーできない領域は現実として存在するため、適宜そうした領域をカバーできる体制を構築するよう努めている。その一環として2024年早々に新たなカーボン膜を提供すべく多結晶ダイヤモンドコーティングの成膜装置を導入し、生産性とコストの両面で市場ニーズにフィットした膜にブラッシュアップしていくよう開発を進める計画だ。例えばta-Cでは寿命が短いアプリケーションにダイ

ヤモンドコーティングでそれ以上の寿命を実現できたとしてもコストが10倍では使ってもらえない。ダイヤモンドコーティングでも、ta-Cとダイヤモンドコーティングの中間を埋める特性を有する膜種の拡充など、コストと性能のバランスや、材料からの見直しを行うなど、「オープンイノベーションセンター（仮称）」などでユーザーと共同で技術とアプリケーションを作りこんでいくことで、カーボン膜の採用を増やし市場を広げていきたい。

ダイヤモンドコーティングの主要なアプリケーションとしては、圧倒的な高硬度と良好な離型性などから刃具・金型分野が挙げられる。DLCも同じ用途があるが、耐熱温度300℃程度のDLCでは耐熱性が足りず適用できない金型もある。これに対し耐熱温度650℃程度のダイヤモンドコーティングは、幅広い金型の離型性改善に適用できる。

ダイヤモンドコーティングは従来、超硬材料やSiウエハにしか成膜できないという課題があるが、当社では現在、摺動部品への適用も見据えて、さまざまな材質に成膜できる技術を研究開発してい

るところだ。並行して、ダイヤモンドコーティングの適用拡大に課題とされる前後工程とのマッチアップも必要となる。成膜技術だけでなく表面性状を制御する前後工程を一体化した表面改質技術のシステム構築も必要と考えている。

以上のように、ダイヤモンドコーティングの①コストと性能のバランス、②適応素材の拡充、③前後工程のシステム構築、という三大課題を解決して、さまざまな産業分野に適用できるよう技術開発を進めていきたい。

6. 今後の展開

DLCコーティングの処理による静摩擦力のピーク抑制のように、基礎に立ち返ったラボでの実験データを蓄積してデータベースを構築、理論と現場の課題解決をしっかりとつないでいき、説得力のある提案を行いながらDLCコーティングが使われていない分野や部品での採用を進めていく。

DLCに限らずあらゆる膜において、市場ニーズを見据えた技術力が重要であり、引き続き適材適所にカーボン膜を提供できるよう、体制構築に努めていきたい。

図5 DLCコーティングを処理した際の静/動摩擦係数：左のDLC未処理の基材は面圧の上昇とともに静/動摩擦係数が上昇し350MPaで摩耗。中央のa-C:Hは被膜が摩耗する600MPa超までは静/動摩擦係数の差が0.1以下かつ低く安定し、ta-Cも被膜が摩耗する1200MPa超までは静/動摩擦係数の差が0.1以下かつ低く安定。右は面圧600MPaでの4種のDLC被膜の摩擦係数の比較で、いずれも低く安定しているが、ta-Cで低摩擦係数が認められる

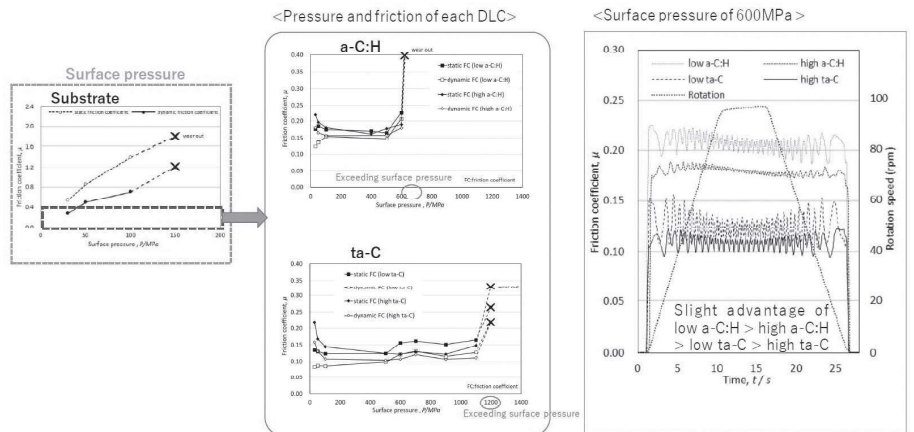


図6 各面圧での4種のDLC被膜の静/動摩擦係数：左が動摩擦係数、右が静摩擦係数。①DLCによって摩擦係数、特に静摩擦係数が著しく減少すること、②高面圧の幅広い領域で静/動摩擦係数の差が小さく低摩擦に抑えることができること、③耐面圧特性はDLCの構造によって左右され、ta-Cが高面圧での耐久性が高いこと、④DLC被膜の硬度は耐面圧や低摩擦への寄与は小さい一方で、DLC被膜の硬度は耐摩耗性確保にとって重要で、同じ摺動環境下では長寿命が得られること、などが分かる

