



# DLC製造プロセスの歴史とその応用

## History and Applications of Diamond-Like Carbon Manufacturing Processes

森口 秀樹\*  
Hideki Moriguchi

大原 久典  
Hisanori Ohara

辻岡 正憲  
Masanori Tsujioka

DLC膜は潤滑性、化学的安定性を持つ硬質薄膜である。近年は環境問題への対応のため、摩擦損失の低減による自動車エンジンの低燃費化に貢献している。また、車体軽量化のため採用が増加しているアルミ合金の切削工具用コーティングとして活用されている。日本アイ・ティ・エフ(株)は、複数種類のDLC成膜装置を所有し、多彩なレシピの中からお客様のニーズに合わせて最適なDLC膜を提供できる体制を整えている。本報告では、DLC膜の製造プロセスの歴史と当社が標準化している多彩なDLC膜質について紹介する。

Diamond-like carbon (DLC) is a hard material with lubricity and chemical stability. Amid the growing awareness of environmental problems in late years, DLC films have been used to reduce the fuel consumption of automobiles by reducing friction loss. The films are also used as a coating of cutting tools for aluminum alloys that have been widely used for automobile weight reduction. Nippon ITF Inc. provides DLC films most suitable for the customer needs by utilizing its equipment, systems, and expertise. This paper introduces the transition of DLC manufacturing processes and DLC films that we have commercialized.

キーワード：DLC、PVD、CVD、コーティング、低摩擦

### 1. 緒 言

DLC (Diamond-Like Carbon：ダイヤモンド状炭素) が初めて論文に登場したのは1971年である。DLC はダイヤモンドの気相合成法の研究過程で偶然に発見された。1950年代に結晶質ダイヤモンドの超高压合成法が発明されたが特殊で高価な装置が必要であり、炭化水素ガスや炭素蒸気(気相)からダイヤモンド結晶を成長させる気相合成法の研究が数多く試みられた<sup>(1)</sup>。この過程で、1971年にAisenbergらによって炭素を主成分とする非晶質硬質膜に関する論文が発表され、これがDLCと呼ばれるようになった<sup>(2)</sup>。それ以降、多様なDLC製造プロセスと膜質の開発が進められた。DLC膜は低摩擦係数、高硬度、化学的安定性といった潤滑性材料として優れた特性を有しており、結晶質ダイヤモンドの気相合成法とは異なる独自の発展を遂げてきた。特に近年は環境問題への対応のため、DLCの低摩擦係数に注目が集まり、摩擦損失の低減による自動車エンジンの低燃費化、焼き付き防止のための駆動部品やポンプ部品への採用など、益々その重要性は高まっている。本報告では、DLC膜の製造プロセスの歴史に始まり、その特徴、分類手法、当社が開発したDLC膜質とその適用事例について順に紹介する。

素)を用いる。PVD法にはアーク、スパッタ、レーザー蒸着法などがある。CVD法には高周波、直流放電、PIG (Penning Ionization Gauge)、自己放電法などがある。図1に当社が採用している高周波放電プラズマCVD、PIG方式プラズマCVD、アークPVDの概念図を示す。

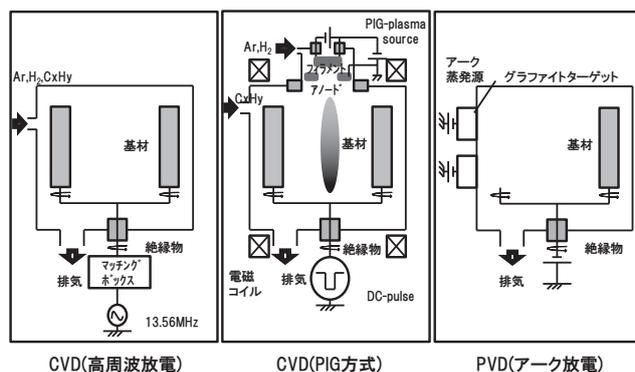


図1 代表的なDLC製造プロセス

### 2. DLCの製造プロセスとその特徴

DLC膜の製造法は、PVD (Physical Vapor Deposition：物理蒸着) とCVD (Chemical Vapor Deposition：化学蒸着) の2種類に分類できる。PVD法ではカーボン原料として固体(黒鉛)を用い、CVD法では気体(メタンなどの炭化水

#### 2-1 高周波放電プラズマCVD法

1970年代後半に炭化水素ガスのグロー放電プラズマに基材を晒すことでDLCを作る研究が活発に行われ、1980年代前半までに数多くの論文が発表された<sup>(3)</sup>。減圧ガス中でグロー放電を発生させる手法としては、直流(DC)放電や高周

波 (RF) 放電が主流で、その多くは基材を設置した陰極側に高周波電力あるいは負の直流電圧を印加し、対向する陽極側を接地電位とした方法であった。原料ガスとしてアセチレン (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)、メタン (CH<sub>4</sub>) などが用いられた。炭化水素ガスプラズマ中のイオンやラジカル<sup>\*1</sup>といった活性種を、比較的低温に保った基材表面に照射することにより、水素を含有したDLC膜が得られる。

## 2-2 PIG方式プラズマCVD法

このプロセスも炭化水素ガスをプラズマに晒してDLCを成膜する方法であるが、基材に入射させる炭素イオンの量と入射する炭素イオンのエネルギーをそれぞれ独立して制御できるため、リモートプラズマCVD法に分類され、水素を含有したDLC膜が得られる。DLCの膜厚や硬度、残留応力、膜組成の制御が容易で、様々な形状の基材に被覆でき適応性が広い。また、プラズマの発生する範囲が広く、投入電力や原料となるガスを比較的効率良く利用して成膜できる。膜硬度は後述するアークPVD法に劣るが、高周波法に比べて特性幅の広い膜質を成膜でき、60μm膜厚のDLCの成膜もできる。PIG法では膜硬度と膜厚を幅広く制御できるため、アルミ基材のような軟質金属にも成膜が可能である。

## 2-3 スパッタ/プラズマCVD複合法

固体原料の黒鉛製スパッタ蒸発源に直流電圧や高周波電力を印加し、不活性ガスプラズマ中の正のイオンを黒鉛に衝突させて炭素原子を叩き出し、基材上に炭素膜を成膜する方法がスパッタ蒸着法である<sup>(4)</sup>。平滑なDLC膜を成膜できるが、炭素のスパッタ収率が低いため成膜速度が遅い短所がある。この炉内に炭化水素ガスを流すと、プラズマCVD法と同じ原理でDLCが成膜でき、炭化水素ガスを流さないスパッタ蒸着法に比べ成膜速度が大幅に向上する。またスパッタ蒸発源に金属を用いると、金属元素を含んだDLCが成膜できる。単純な黒鉛原料のスパッタであれば純粋なPVD法に分類され、水素を含有しないDLC膜が得られるが、炭化水素ガスを併用する場合はリモートプラズマCVD法に分類され、水素を含有したDLC膜が得られる。

## 2-4 アークPVD法

固体原料の黒鉛を陰極とし、陰極表面で連続的な真空アーク放電を起こすことで炭素イオンを高効率に発生させ、負電位の基材表面にDLCを成膜する方法が陰極アーク式PVD法である。この手法は旧ソビエト連邦で開発され、1970年代に既に水素を含有しないDLCの成膜が報告されている<sup>(5)</sup>。その後1970年代後半にこの技術が西側諸国に紹介されると、オーストラリアや欧州そして米国において開発が加速した。このプロセスの特徴は、黒鉛の気化速度が速い上に黒鉛蒸気のイオン化率が高いため、ダイヤモンド質が多く黒鉛質が少ない、高硬度の水素を含有しないDLCが容易に成膜できることである。また蒸発源のサイズが比較的小型であり、多数の蒸発源を同時運転することで大面積での高速成膜が可能となる。

しかし、アーク放電時にイオン化しなかったドロップレットあるいはマクロパーティクルと呼ばれる粗大粒子が膜中に

混入して面粗さが低下し、相手攻撃性が大きくなってしまふことが欠点である。

## 2-5 フィルタードアークPVD法

前述の粗大粒子が基材に届かないよう、幾何学的に屈曲したダクトと磁場を組み合わせた磁気フィルター式陰極アーク蒸発源が1970年代に旧ソビエト連邦で開発され、欠陥の少ない硬質炭素膜が形成できることが報告された<sup>(6)</sup>。しかし磁気フィルターによって蒸発源の利用効率が低下し、成膜速度の低下や処理面積の減少など、生産性が低下する短所がある。また、ダクト内を反射しながら基材に到達する粗大粒子は皆無ではなく、装置価格も高い。

各プロセスで成膜したDLCの構造と特徴を表1に示す。

表1 DLC製造プロセスの構造と特徴

合成プロセス		DLC構造	特徴
プラズマCVD	高周波法	a-C : H (水素含有DLC)	平滑、低摩擦(ドライ) 絶縁基板も成膜可能 密着性がやや劣る
	PIG法	a-C : H (水素含有DLC)	厚膜対応可能 膜硬度、応力制御可能 膜厚分布が若干悪い
	自己放電法	a-C : H (水素含有DLC)	高付き回り(内面コート可能) 高成膜レート、充填密度 密着性がやや劣る
PVD	アーク法	ta-C (水素フリーDLC)	ダイヤモンドに近い高硬度 油中で低摩擦 厚膜化に難、基材表面状態に敏感
	スパッタ法	a-C, ta-C (水素フリーDLC)	導電性DLC対応可能 硬度が低い
複合	スパッタ+PCVD	a-C : H, ta-C : H (水素含有DLC)	Ti, W等の金属添加が容易

## 3. DLCの分類手法

DLCの分類については、Casiraghiらによって疑似三元系状態図の形に整理され、製法との関係性について把握されている<sup>(7)</sup>。スパッタ蒸着法、アークPVD法で成膜したDLCは、原料として炭化水素ガスを用いず、固体黒鉛のみを用いる限り、いずれも水素を含まないDLCとなる。これらのDLC膜は、図2において水素含有量ゼロのGLC (Graphite-Like Carbon : 黒鉛状炭素)、a-C (Amorphous Carbon : 非晶質炭素) からta-C (Tetrahedral Amorphous Carbon : 正四面体配位非晶質炭素) の範囲で、sp<sup>3</sup>結合炭素量やクラスター構造の違いによって特徴づけられる。他方プラズマCVD法により炭化水素ガスを原料として成膜したDLCはいずれも水素を含有したDLC膜となる。これらのDLC膜は、a-C : H (Hydrogenated Amorphous Carbon : 水素含有非晶質炭素) からta-C : H (Hydrogenated Tetrahedral Amorphous Carbon : 水素含有非晶質炭素) のいずれかの形態をとり、水素量、sp<sup>3</sup>結合炭素量の違いによって特徴づけられる。こ

のように、DLCは水素量とsp<sup>3</sup>結合炭素量、クラスタ構造によって特徴づけられ、機械的(硬度、ヤング率)、光学的(屈折率、透過率/吸収率)、電氣的(導電率)、化学的(昇温時の挙動、酸化挙動、各種物質との親和性等)な挙動を理解する際の情報となる。例えば水素を比較的多く含むDLCは、乾燥窒素雰囲気中や超高真空中で極端に低い摩擦係数(0.02以下)を示すことや湿潤大気中でのSi添加DLCの低摩擦性が報告されている<sup>(8)</sup>。一方、自動車部品や機械部品に多い潤滑油存在下では、DLC膜中に含まれる水素量が少ないほど摩擦係数が下がることが報告されている<sup>(9)、(10)</sup>。

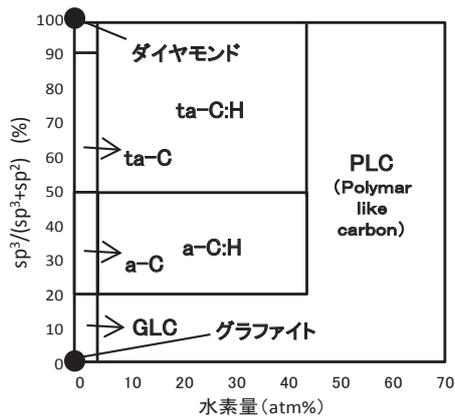


図2 DLCの分類

#### 4. 日本アイ・ティ・エフのDLC膜

当社の代表的なDLC膜の分類と特性を表2に、特徴と用途を表3に示す。

表2 ITFの代表的なDLC膜の特性

DLC膜質	DLC構造	可能膜厚(μm)	面粗度 Rz (μm)	膜硬度 (GPa)	酸化温度 (°C)	基材材質	ヤング率 (GPa)
HA	ta-C	≦1	1.0 ラップ後 0.3	60~80	500	一般鋼 超硬合金	600
HAX	ta-C	≦1	≦0.1	60~80	500	一般鋼 超硬合金	600
HC	ta-C:H	≦3	1.0 ラップ後 0.3	40~60	350	一般鋼 超硬合金	500
HT	a-C:H a-C:H:Si	1~2	0.1~0.5 膜厚依存	15~25	300	金属全般 セラミックス	150
HP	a-C:H a-C:H:Si	1~10	<0.2	15~25	300	金属全般	未測定
HS	a-C:H a-C:H:Me	0.5~1.5	<0.1	20~30	300	金属全般	200
F	a-C:H	0.3~2	<0.2	<15	300	高分子全般	未測定

表3 ITFの代表的なDLC膜の特徴と用途

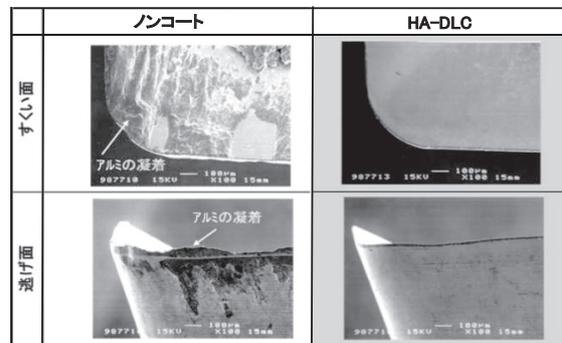
DLC膜質	スクラッチ (N)	高面圧摺動 (N)	特徴	代表的適用例
HA	≦60	>5000	高硬度 油中低摩擦	軟質金属用工具、金型 自動車エンジン部品
HAX	≦50	>5000	高硬度 低欠陥密度	精密金型 レンズ成型金型
HC	≦60	>5000	高耐久	自動車エンジン部品
HT	≦50	3000	厚膜対応 低内部応力	一般機械部品 自動車部品(非エンジン)
HP	≦50	未測定	内面コート対応	パイプ内面処理
HS	≦80	>5000	低相手攻撃性	自動車部品(非エンジン)
F	未測定	未測定	低温処理 高分子材料対応	ゴム部品 (低摩擦、固着防止)

#### 4-1 HA-DLC

アークPVD法で成膜した水素を含まないDLC膜であり、ta-Cに分類されるダイヤモンドに次ぐ高硬度の硬質薄膜である。アルミ合金切削用工具、成型金型などに用いられ、軟質金属や樹脂の溶着防止、加工精度の向上、長寿命化に効果を発揮する。この膜は油中で低摩擦を示し、Mo-DTCなどの潤滑材を含む油剤においても優れた耐摩耗性を示す。2006年には自動車エンジン部品であるバルブリフターの低摩擦膜として量産適用された。

図3はアルミ合金(ADC12)を超硬工具とHA-DLCを被覆した超硬工具で切削評価した結果であるが、ノンコートの超硬工具ではアルミの凝着が激しいのに対し、HA-DLCを被覆した工具では凝着がほとんど見られない。また、切削抵抗の評価結果を図4に示すが、HA-DLCを被覆した工具では超硬工具と比較して、乾式、湿式のいずれでも切削抵抗が減少している。これは、DLC膜はアルミの凝着が起こりにくく摩擦抵抗も小さいため、切りくずがスムーズに排出された効果である<sup>(11)</sup>。

図5はSUJ2を相手材にノンコートのSCM415浸炭材とTiN、水素含有DLC、水素フリーDLC(HA-DLC)、ダイヤモンド



【加工条件】: DRY, V=300m/min, Fz=0.15mm/t, Ad=Rd=5mm, L=9m  
被削材=ADC12, Tool=WEM3032E, APE1160504PDRF-S  
加工機=牧野フライス製作所製立型マシニングセンター(V5S)

図3 アルミ切削における工具への凝着状態

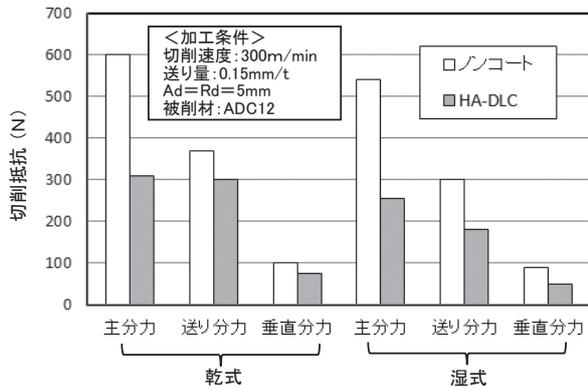


図4 アルミ切削における切削抵抗

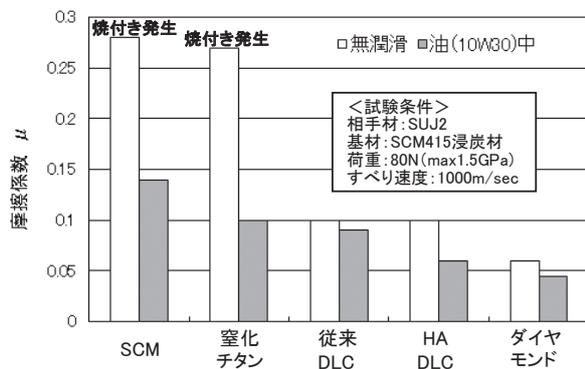


図5 各種膜質の無潤滑及び油中での摩擦係数

ンドを被覆したSCM415材の摩擦係数を無潤滑と油中で比較評価した結果である。無潤滑ではノンコートとTiNに焼付きが発生したのに対し、DLCとダイヤモンド被覆品には焼付きが発生せず、油中では水素フリーDLCがダイヤモンド被覆品に近い低摩擦を示した。これはHA-DLCはダイヤモンドと同じsp<sup>3</sup>結合の炭素原子を多数含むta-Cであり、油剤がsp<sup>3</sup>成分と親和性に優れることが原因である。この油中での低摩擦が、自動車エンジンの動弁系部品であるバルブリフターにHA-DLCが採用される決め手となった<sup>(9)</sup>。

#### 4-2 HC-DLC

アークPVD法で成膜した水素を含むDLCであり、ta-C : H~a-C : Hに分類される。本膜は固体ターゲットだけでなく、炭化水素ガスも成膜中に原料として用いることに特徴があり、硬度はHA-DLCよりも柔らかく、面粗さはHA-DLCよりも良好である。このため、HA-DLCより耐チップング性と相手なじみ性に優れ、相手攻撃性も低い。炭化水素ガスの投入量・圧力の調整で水素含有量の異なるDLCを成膜でき、膜硬度をある程度制御可能である。本膜の適用用途としては、自動車エンジン部品の他、各種機械部品、軟質金属の成型金型などが期待できる。

#### 4-3 HT-DLC

PIG方式プラズマCVD法で成膜した水素を含むDLCであり、a-C : Hに分類される。HT-DLCは基材材質を選ばず、様々な用途に対して膜構造と特性を制御できることから、各種の機械部品や自動車の摺動部品に適用されている。自動車の駆動系部品は潤滑油やグリースを用いて摺動しており、これらが劣化、枯渇すると振動や異音が発生し、ひどい場合は焼き付きを起こす。また外部から砂塵が侵入し、摩耗対策が必要となる場合もある。また近年、バイオエタノールが燃料となる場合があり、この燃料は異物がフィルターで捕集されにくいことからポンプ部品の摩耗が問題となる。この部品には軽量化、易加工性の観点から、アルマイト処理をしたアルミ鋳造品が用いられる。各種DLC膜を評価した結果、絶縁体で多孔性のアルマイト上に安定した成膜ができたのはHT-DLCのみで、二輪車用のポンプ部品として量産で採用された。

#### 4-4 HP-DLC

PIG方式プラズマCVD法では、パイプの内面や複雑な形状の部品に均質なコーティングを行うことは困難である。通常のプラズマCVD法の成膜圧力は0.1~10Pa程度であるが、この圧力範囲では電子がほとんど存在しないイオンシース厚みが数10mm以上となり、数10mm以下のパイプ内面には高密度のプラズマは生成されず、DLCは成膜できなかった。HP-DLCはこの欠点を改良するため、穴内部でホロー放電<sup>※2</sup>を生成させ、ガス圧力を数10Pa以上に保つことで、穴内部に高密度のプラズマを発生させた。図6にHP-DLCで成膜可能な内径と穴深さの範囲を示す。両端が開いたパイプ形状であれば図の2倍の深さまでの処理が可能となる。HP-DLCの適用用途は軸受け、シリンダー内面、金型凹部、液体・ガス配管内面などである。

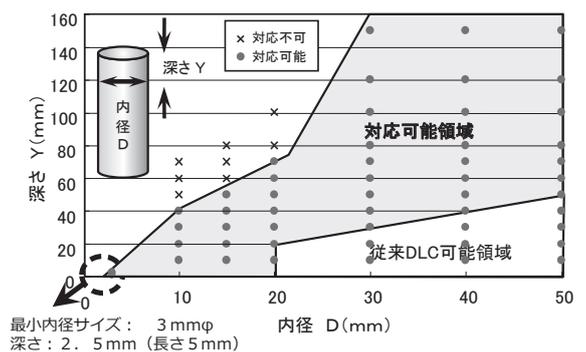


図6 HP-DLCのパイプ内面コート可能サイズ

#### 4-5 F-DLC

高周波プラズマCVD法で成膜した水素を含むDLCであり、a-C : Hに分類される。F-DLCは特に高分子材料に被覆可能なプロセスとして開発された。一般にDLCはArなどの

イオンを基材表面に照射して表面を清浄化してから被覆されるが、高分子材料はイオン照射時の温度上昇で変質してしまう問題がある。F-DLCでは水素プラズマに晒して基材表面の汚れを低温で除去する方法を採用した。また、通常のプラズマCVD法では基材温度は200℃近傍まで上昇し、高分子材料が変質する。そこで、プラズマを断続的に停止することで基材の温度上昇を60~80℃に抑制し、高分子材料を変質させず密着力に優れるDLCを成膜できるようにした。さらに高分子材料は柔らかく変形しやすいため、通常のDLC膜では変形に追随できず、膜が破壊してしまう。そこで、F-DLC膜には膜の厚み方向に亀裂を導入する形とした。F-DLCの表面SEM(走査電子顕微鏡)写真を写真1に示す。亀裂が膜中に存在することで、基材が大きく変形してもDLC膜は破壊しない。各種ゴムにF-DLCを被覆した際の摩擦係数を図7に示す。ノンコートではゴム材質により摩擦係数は大きく異なるが、F-DLCを被覆するとPTFE(ポリテトラフルオロエチレン:フッ素樹脂)と同等の低摩擦を示すようになる。この低摩擦はドライ環境でも得られ、潤滑油やグリースを使用できない環境下で大きな効果が期待できる。また、DLCは化学的に安定であり、ゴムと比較して使用環境(熱や油など)による変質に強いいため、ゴムで問題となる固着防止への適性が期待できる。

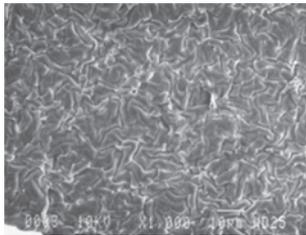


写真1 F-DLCの表面SEM写真

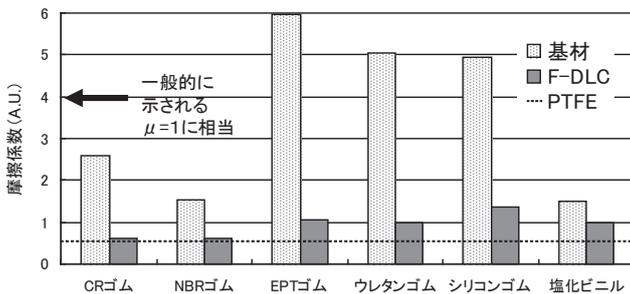


図7 各種ゴムにF-DLCを被覆した時の摩擦係数

図8にPTFEとその上にF-DLCを被覆した材料のボールオンディスク試験結果を示す。ノンコートと比較してF-DLCを被覆すると摩耗量は約1/9となり、摩擦係数はPTFEと同等

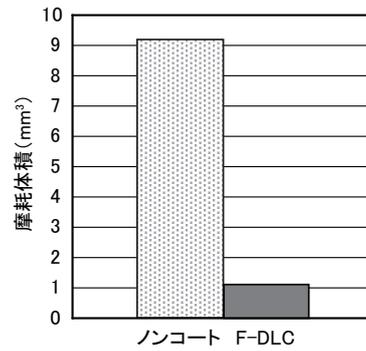


図8 F-DLC被覆したPTFEの摩耗特性

であった。PTFEに対するF-DLCの長所は耐摩耗性と薄膜コートによる優れた寸法精度である。一方、リングオンディスク試験のような面摺動となる低荷重の用途ではPTFEコートの方が低摩擦を示す。高面圧(PV値で1200MPa・m/min以上)や高精度(1~10μm)の用途ではDLC、低面圧(PV値で1200MPa・m/min未満)や低精度(膜厚10~100μm)の用途ではPTFEコートといった選択が好ましい。

#### 4-6 HS-DLC

スパッタ/プラズマCVD複合法で成膜したDLCであり、a-C:Hに分類される。入射させる炭素イオン量と入射する炭素イオンエネルギーを独立に制御してDLC膜質が膜厚方向で傾斜的に変化するように成膜し、密着性に優れる中間層を採用して優れた耐剥離性と耐チップング性を実現した。HS-DLCをギアに被覆してFZG試験<sup>\*3</sup>を行った所、潤滑材を含まない油剤環境で最終の14ステージまでスカuffing損傷<sup>\*4</sup>なしで試験できた。HS-DLCは他のプラズマCVD膜よりも優れた密着性と耐チップング性を有する。

#### 4-7 最新のDLC膜

当社では、フィルタードアーク手法で成膜したHAX-DLCを標準化している。HAX-DLCはHA-DLCの短所である面粗さを改善した膜であるが、偏向磁場を用いるため成膜領域が狭く、成膜速度も遅い短所があった。これらの短所を解決するため、当社は粗大粒子を全く発生しないアーク蒸着源の開発に取り組み、粗大粒子をほぼ発生しない成膜プロセスの開発に成功した。写真2にこれらのプロセスで成膜したDLC膜

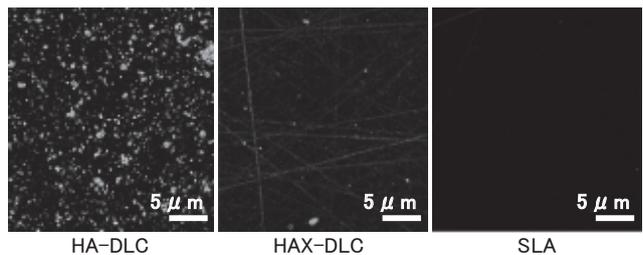


写真2 各種アークPVD法DLCの表面SEM写真

の表面SEM写真を示す。新開発プロセスで成膜したDLCはHAX-DLCよりも平滑性に優れ、成膜領域の広さ、成膜速度ともに通常のアーク法と同等である。粗大粒子の生成を極度に抑制した、後研磨が不要な新しい水素フリーDLC成膜プロセスとして、特に面粗さと耐熱性が重視されるレンズ成型用金型への市場展開を狙い、現在量産プロセスの確立に注力している。将来的には切削工具、自動車・機械部品、電機電子関連部材などへの適用を検討している。

## 5. 結 言

DLCはその優れた潤滑特性から、幅広い産業でその適用例が増加している。特に近年は自動車分野での環境規制や燃費規制が契機となって、DLCコーティングは動力損失を低減可能な重要技術として注目されている。特に当社が得意とする水素フリーDLCは、バルブリフターだけでなくピストンピンやピストンリングなどの自動車部品用途においてMo-DTC<sup>※5</sup>を含む潤滑油中でも耐摩耗性に優れることから注目を集めている。今後益々各種規制が強化されるに伴い、摺動特性に優れるDLC膜に対するニーズはさらに高まると予想される。

これらの期待に応えるには、用途に対応した膜質、様々な部品形状にも対応可能なプロセス、低コスト化技術の開発が必要である。部品への適用、実用化に当たっては部品基材との相性、使用環境を総合的に検討し、DLC膜の特性と構造を設計することが今まで以上に重要になっている。そのため、DLC膜を適用するユーザー側の設計部門や製造・開発部門と一体となり、DLCに適した基材の選定、形状設計を行うことも必要であり、今後そういった連携、共同作業がますます重要になってくると思われる。

## 用語集

### ※1 ラジカル

不対電子をもつ原子や分子のことで、反応性に富む。

### ※2 ホロー放電

狭い空間に閉じこめられた電子が激しく往復運動することで起こる放電現象。

### ※3 FZG試験

ドイツで開発されたギア評価法。

### ※4 スカッフing損傷

ひっかき傷のこと。焼き付きの前駆現象として現われる。

### ※5 Mo-DTC

ジアルキルジチオリン酸モリブデンのこと。油に添加して潤滑材として機能する。

## 参 考 文 献

- (1) J. C. ANGUS, "Growth of Diamond Seed Crystals by Vapor Deposition," J. Appl. Phys., 39, 6 (1968) 2915
- (2) S. AISENBERG & R. CHABOT, "Ion-Beam Deposition of Thin Films of Diamondlike Carbon," J. Appl. Phys., 42, 7 (1971) 2953
- (3) H-C. TSAI & D. B. BOGY, Critical Review, "Characterization of Diamondlike Carbon Films and Their Application as Overcoats on Thin Film Media for Magnetic Recording," J. Vac. Sci. Technol., A5, 6 (1987) 3287
- (4) N. SAVVIDES, "Fourfold to Threefold Transition in Diamondlike Amorphous Carbon Films," A Study of Optical and Electrical Properties, J. Appl. Phys., 58, 1 (1985) 518
- (5) V. E. STREL'NITSKII, V. G. PADALKA & S. I. VAKULA, "Properties of the Diamond-Like Carbon Film Produced by the Condensation of a Plasma Stream with an rf Potential," Sov. Phys. Tech. Phys., 23, 2 (1978), 222, American Institute of Physics
- (6) I. I. AKSENOV, S. I. VAKULA, V. G. PADALKA, V. E. STREL'NITSKII & V. M. KHOROSHIKH, "High-Efficiency Source of Pure Carbon Plasma," Sov. Phys. Tech. Phys., 25, 9 (1980) 1164, American Institute of Physics
- (7) C. CASIRAGHI, J. ROBERTSON & A. C. FERRARI, "Diamond-Like Carbon for Data and Beer Storage," Materials Today, 10 (2007) 44
- (8) 森広行、高橋直子、中西和之、太刀川英男、大森俊英、表面技術、59巻6号(2008) 401
- (9) 加納眞、精密工学会誌、66巻4号(2000) 531
- (10) Y. MABUCHI, T. HAMADA, H. IZUMI, Y. YASUDA, M. KANO, "The Development of Hydrogen-free DLC-Coated Valve-Lifter," SAE Paper 2007-01-1752 (2007)
- (11) FUKUI, H., OKIDA, J., OMORI, N., MORIGUCHI, H., TSUDA, K, "Cutting performance of DLC coated tools in dry machining aluminum alloys, Surface and Coatings Technology," 187, 1 (2004) 70

## 執 筆 者

森口 秀樹\* : 日本アイ・ティ・エフ(株)  
執行役員 技術開発センター長  
工学博士



大原 久典 : アドバンストマテリアル研究所  
無機材料研究部長



辻岡 正憲 : 日本アイ・ティ・エフ(株)  
常務取締役



\*主執筆者