

特 集 論 文

関連するSDGs



SDGsの達成に貢献するDLC技術

DLC Technology that Contributes to the SDGs

三宅 浩二
Miyake Koji大原 久典
Ohara Hisanori

1. はじめに

炭素を主成分とするDLC (Diamond Like Carbon) 膜は環境にやさしく、滑りに優れているため、今日では多くの摺動部品に適用されている。

特に、膜中に水素を含有しない水素フリーDLC膜は、油中で大幅に摩擦抵抗が低減することから、2004年から自動車部品に適用され、燃費の大幅向上につながり、エネルギーの有効活用に貢献してきた。当社は、成膜設備を自社開発できる利点を活かし、2001年より水素フリーDLCの開発、製品化に着手し、2002年に切削工具、2004年よりバルブプリーターへの適用を業界に先駆けて開始した。

本稿では、SDGsの達成に貢献する、当社のDLC技術について、水素フリーDLC膜を中心に紹介する。

ができるが、イオン化率が極めて高いアーク蒸着法を用いることで、ダイヤモンドに最も近い高硬度なta-C (tetrahedral amorphous Carbon) 型水素フリーDLC膜を形成することができる。

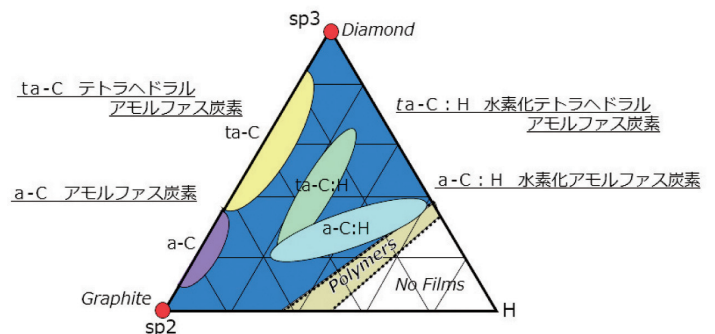


図1 DLC膜の疑似三元系状態図

2. 水素フリーDLC膜によるエネルギー損失低減

2.1 DLC膜の概要

DLC膜は、炭素を主成分とする非晶質 (amorphous) の硬質膜であり、ダイヤモンド (sp³構造) とグラファイト (sp²構造) の中間的性質を有している。製法としては、グラファイトなどの固体を原料として成膜するPVD (Physical Vapor Deposition) 法と、メタンやアセチレンなどの炭化水素ガスを原料として成膜するCVD (Chemical Vapor Deposition) 法がある。製法によってDLC膜中のsp³/sp²比率や水素の含有量が変わり、これによってDLC膜の硬度や化学的特性が大きく異なる。Robertsonらによって提唱された疑似三元系状態図による分類を図1に示す⁽¹⁾。

水素フリーDLC膜は、PVD法により成膜すること

2.2 水素フリーDLC膜による摩擦損失低減効果

1980年代から様々な摺動部品にDLC膜の適用が始まったが、その多くは無潤滑環境下で低摩擦かつ、耐焼き付き性に優れた特徴を活かした応用であった。

2000年代初頭、保田らによって、水素フリーDLC膜が、油中で摩擦係数が大幅に低減することが示された⁽²⁾。無潤滑環境下と潤滑油 (エンジンオイル) 環境下における各種被膜の摩擦係数を図2に示す。無潤滑環境下では、鋼材 (ノンコート) と比較してDLC膜は大幅に摩擦係数が下がるものの、潤滑油環境下では水素を含有するDLC (a-C:H) 膜の摩擦係数は0.11と、鋼材とほとんど変わらないことが判る。一方で、水素フリーDLC (ta-C) 膜は摩擦係数0.07と、鋼材対比で40%弱の低減ができていることが判る。

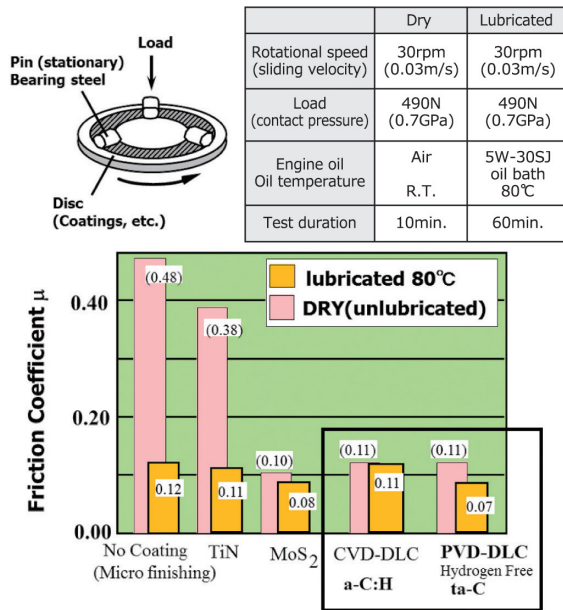


図2 各種材料の大气中およびエンジン油中での摩擦係数⁽²⁾

2. 3 水素フリーDLC膜のバルブリフターへの応用

潤滑油中で、水素フリーDLC膜の摩擦係数が大幅に低下することから、摩擦損失低減による燃費向上を目的として、当社は自動車メーカーおよび部品メーカーと共同で自動車エンジンのバルブリフター（図3）への適用開発を進めた。カムと接触するバルブリフターに本DLC膜を適用するには、高い接触面圧下での転がり・滑り複合接触という厳しい環境に耐える必要があった。また、量産コーティング技術の確立や、品質信頼性の確保が求められた。

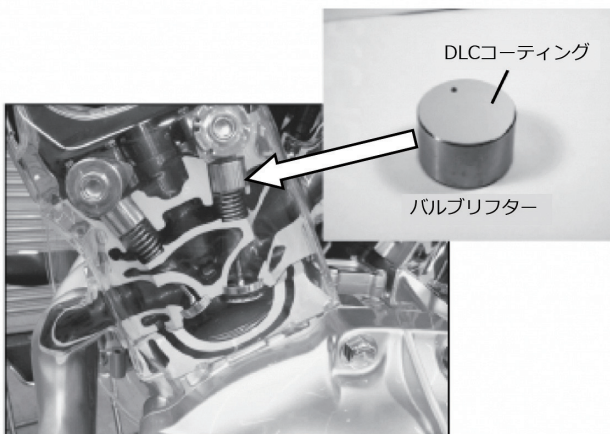


図3 エンジンシリンダーヘッドの断面とバルブリフターの写真

これらの課題を克服した結果、2004年から少量生産および、自動車エンジンへの適用を開始した。2006年春からは、当社前橋工場において量産を開始し、2007年秋に月産150万個以上の水素フリーDLC膜を適用したバルブリフターの大量生産を実現した⁽³⁾。

バルブリフターへの水素フリーDLC膜適用による燃費低減効果は、本DLC膜のみで1%、DLC膜対応省燃費エンジンオイルとの組み合わせで約2%と見積もられている。本DLC膜は、2005年までに約10万台に搭載され、2006年からは搭載車種の拡大と地域の拡大（国内、北米→欧州）を達成した。また、本DLCに最適化されたエンジンオイルとの組み合わせにより効果を拡大することで、同年末時点で毎年約1万ton、2009年時点で毎年約3万tonのCO₂量削減に貢献したものと推定される⁽⁴⁾。ガソリンの二酸化炭素排出係数（2.32 kg-CO₂/リットル）を考慮すると、1万tonのCO₂削減はガソリン使用量換算で430万リットルの節約に相当する。その後も本DLC膜の適用は続いており、SDGs達成への貢献が期待できる。

2. 4 水素フリーDLC膜のピストンリングへの応用

エンジン部品の中でバルブリフター以外に、摺動損失の大きな部品であるピストンリングにも、水素フリーDLC膜の適用開発を進めた。

ピストンリングは、シリンダ内壁と往復摺動する部品である。シリンダ内壁での往復摺動環境では、ピストンリングに施された高硬度な水素フリーDLC膜であるta-Cは、膜中に取り込まれた硬質粒子（ドロップレット）が脱落し、摺動面にとどまることで膜の摩耗が加速する問題があった。当社は、プロセス条件の調整によって表層を低硬度にしてa-C/ta-Cの二層構造とし、かつドロップレットの成長を抑制することで摩耗を抑制する新膜ジニアスコート^(*) HAM (HAM-DLC)を開発し、ピストンリングへの適用を可能とした⁽⁵⁾。

図4にHAM-DLCの膜構造と、SRV (Schwingungs Reihung und Verschleiss) 往復摺動試験での摩擦摩耗試験結果を示す。単層のta-Cでは、短時間で膜が摩滅して無くなっていたのに対し、HAM-DLCは摩耗が大幅に抑制できていることが判る。

これらの技術開発により、ピストンリングへの水素フリーDLCコーティング量産および、装置販売を開始した。特にディーゼルエンジンでは走行距離が長く長寿命が要求されるため、厚膜の水素フリーDLC膜の要望が強く、今後も拡大が期待できる。

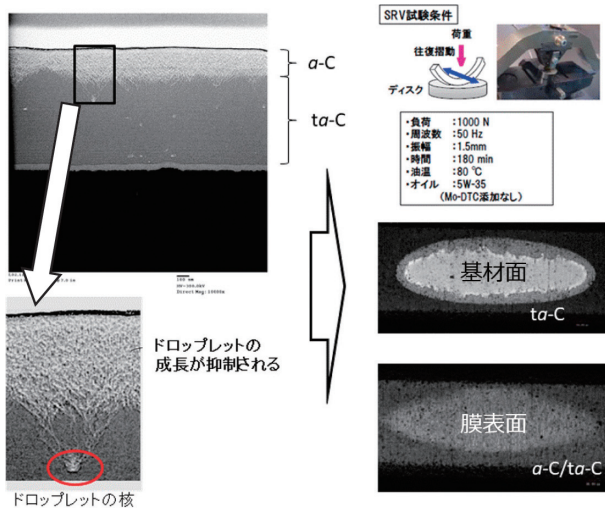


図4 HAM-DLC構造とSRV摺動試験結果

3. まとめ

自動車エンジンはさらに燃費向上のため、過給圧アップ、可変弁機構の採用、直噴高圧化などの開発が進められている。これに伴い、耐摩耗・耐焼き付き性向上の要求が高まっている。よって、エンジン関連部品等へのDLC膜ニーズが高い状態が継続すると想定できる。当社は、これらの部品に適用できるDLC膜の量産と開発を進めている。

一方で、周知のとおり、EV（電気自動車）化の流れが急速に加速している。EVでは、冷却系の摺動性向上、歯車の伝達効率や耐久性向上、軸受の耐久性向上などを目的として、DLC膜へのニーズが非常に高まっており、様々な部品への適用開発を進めている。また、燃料電池や水素エンジンなど、水素ガスの活用も注目されている。水素供給系などの摺動部品は、無潤滑下での摺動に

なるため、耐摩耗性・耐焼き付き性確保を目的に、当社DLC膜の適用が進んでいる。

加えて、再生エネルギーの分野でも、DLC膜の適用が進んでいる。風力発電に使用される発電機の軸受は、厳しい環境下での長期耐久性が要求されるため、DLC膜の適用が進み始めている。

今後も、当社はDLC膜を基幹技術として、エネルギー損失低減や、EV・再生エネルギーの発展に寄与することで、SDGsの達成に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) C. Casiraghi, J. Robertson and A. C. Ferrari : “Diamond-like carbon for data and beer storage”, Materials Today, Vol.10 No.1-2, pp.44-53 (1989)
- (2) Y. Yasuda, et al. : “Research on Diamond-Like Carbon Coatings for Low-Friction Valve Lifters” SAE Paper 2003-01-1101 (2003)
- (3) 大原、内海 他 : “バルブリフター用水素フリーDLCコーティング技術の開発”, 日新電機技報 Vol.53 No.2 p.46-50 (2008)
- (4) 機械振興協会 機械振興賞 業績概要詳細: 「エンジン用水素フリーDLCバルブリフター」, <http://www.jspmi.or.jp/system/file/3/893/N05-06.pdf>
- (5) 森口、柴田、渡邊 : “新型DLC膜ジニアスコートHAMの組織的特徴と摺動特性”, 日新電機技報 Vol.62 No.2 p.30-35 (2017)

(*) 「ジニアスコート」は、日本アイ・ティ・エフ(株)の登録商標です。

執筆者紹介



三宅 浩二 Miyake Koji
日本アイ・ティ・エフ株式会社
開発部長



大原 久典 Ohara Hisanori
日本アイ・ティ・エフ株式会社
常任顧問