

# 環境に優しい産業機械部品化のための 高密度ナノ炭素膜の開発

機械金属部 安井治之，鷹合滋樹  
(株)オンワード技研 瀧 真，長谷川祐史

## 1. 目的

ダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜は、高硬度、低摩擦係数なことから、機械や電子分野の部品や工具・金型等の表面改質膜として広く利用されている。しかし、近年では、DLC膜の高硬度化や低摩擦化により、製品を長寿命化したいとの要求が高まっている。そこで、本研究ではDLC膜の硬さと摩擦係数向上のためのアプローチとして、ダイヤモンドに近い構造(sp<sup>3</sup>構造)を持ち、膜中に含まれる水素含有量を極端に低減させ、膜表面に微粒子炭素(ドロップレット)がほとんど存在しない新しいDLC膜(高密度DLC膜)を成膜するため、フィルタードアーク蒸着(FAD)システムを改良した装置(X-FAD)の開発を行った。

## 2. 内容

### 2.1 成膜装置の開発

開発した装置では炭素と金属の2つの蒸発源をX型に配置し、アーク溶融時に発生するドロップレットが試料表面に滴下しないようにイオンのみを磁界で試料室へ導入している(図1)。また、炭素源に水素を含まない固体グラファイトを使用することで、密度の大きなDLC膜を成膜可能である。金属イオンの併用により、密着力が高く機能性を持つ膜の作製が可能である。

### 2.2 高密度DLC膜の基本特性評価

作製した高密度DLC膜の特性評価は、Hysitron社製ナノインデンテーション試験機による硬さ測定、CSEM社製トライボメータによる摩擦係数測定、そして、X線反射率(XRR)法を用いた膜密度測定により行った。なおX線による反射率測定では、ブルカー社製X線回折装置D8DISCOVER Ultra GID(Cu-K $\alpha$ :1.54 )を使用した。

図2に各種DLC膜の硬さを試験荷重1mN，負荷速度0.2mN/sの条件で試験を行った結果を示す。高密度DLC膜はダイヤモンド(100GPa)に準じる90GPaの硬さを持ち、従来DLC膜の4倍以上の硬さを示すことがわかった。

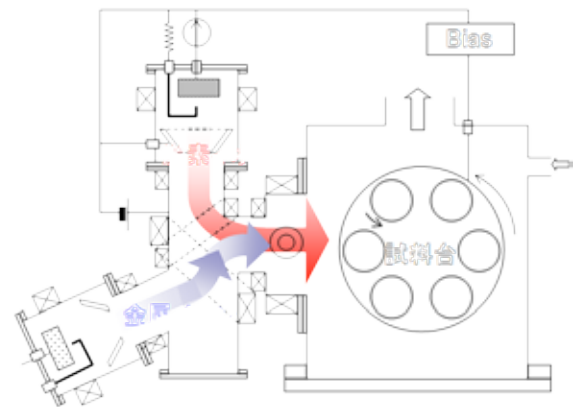


図1 高密度DLC成膜装置の概略

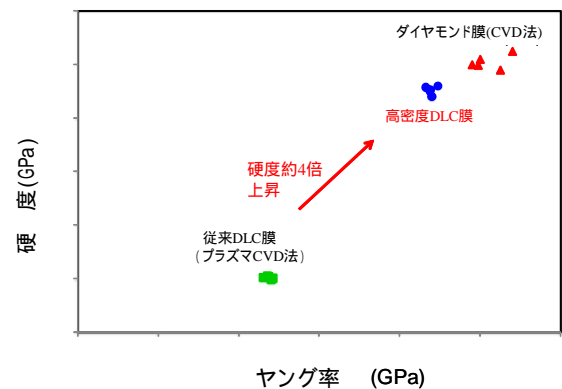


図2 従来膜と高密度DLC膜の硬度比較

図3にはトライボメータによる高密度DLC膜，従来DLC膜とアルミニウム合金(A5052)ボールのドライ環境下での摩擦摩耗試験結果を示す。試験条件は，試験荷重10N，試験速度10cm/s，回転半径2mm，摺動距離150mで行った。その結果，高密度DLC膜は，アルミニウム合金に対して従来DLCよりも40%以上低い摩擦係数を示すことがわかった。また，図4には，エンジン油中での摩擦摩耗試験結果を示す。ドライ環境下と同じ試験条件で，摺動距離を2kmとした。その結果，従来DLC膜は摩擦係数0.03から徐々に上昇して摺動距離2kmで0.10と高い値であった。一方，高密度DLC膜は，油中で安定して摩擦係数0.01と超低摩擦を発現することがわかった。

次に，X線反射率の測定結果を図5に示す。図中の反射率の減少開始点(臨界角)から膜の密度を求めることができる。これらの波形解析により密度を計算した結果，従来DLC膜が $1.9 \text{ g/cm}^3$ 程度の密度であることにに対し，高密度DLC膜は $3.4 \text{ g/cm}^3$ とダイヤモンド膜( $3.5 \text{ g/cm}^3$ )に近い値が得られ，今回開発した膜の有効性を検証することができた。

### 3. 結果

DLC膜は今後も進化しながら実用化されると考えられる。今回新たに開発した高密度DLC膜は，硬さ90GPa，膜密度 $3.4 \text{ g/cm}^3$ とダイヤモンドの硬さと密度に近い。また，油中環境下での摩擦係数0.01と従来DLC膜より低いため，これまでDLC膜では対応できない新たな市場に進出できるだけの性能をもっていると期待される。

本研究は，独立行政法人科学技術振興機構の地域イノベーション創出総合支援事業・重点地域研究開発推進プログラム「平成20年度イノベーションプラザ石川・育成研究」事業として研究助成金を受けた。記して謝意を表す。

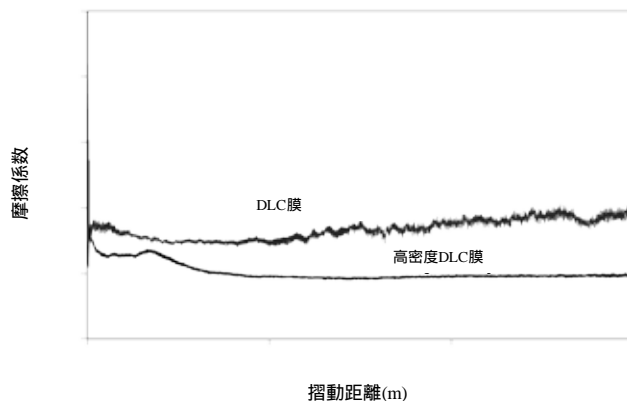


図3 ドライ環境下での摩擦摩耗試験結果

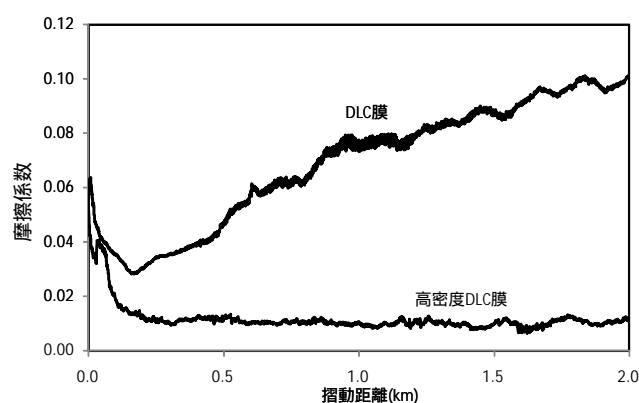


図4 油中環境下での摩擦摩耗試験結果

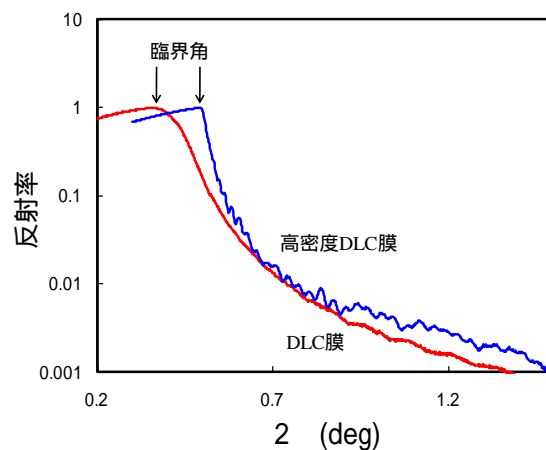


図5 高密度DLC膜の膜密度測定結果