

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 8月 23日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360069

研究課題名（和文） 無潤滑超低摩擦・耐摩耗カーボン系硬質膜の静摩擦係数減少のための設計指針の確立

研究課題名（英文） Establishment of design concept for reduction of static friction coefficient of hard carbonaceous coatings under dry condition

研究代表者

梅原 徳次（UMEHARA NORITSUGU）

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70203586

研究成果の概要（和文）：

超低摩擦・超耐摩耗のカーボン系硬質膜の静摩擦係数の減少の制御指針を確立することを目的とした。カーボン系硬質膜としては DLC 膜をプラズマ CVD 法で成膜した。成膜時間の増加とともに表面粗さ Ra が増大し、それに伴い大気中での TPE に対する摩擦係数も増加した。その原因を DLC 膜の微小突起の掘り起こしで説明した。また、摩擦の凝着項を減少させるためフッ素含有 DLC 膜を真空蒸着法で成膜したところ、湿度が増加しても静摩擦係数が増加しない表面が得られた。以上のように、DLC 膜の静摩擦係数の制御指針として、掘り起こし項と凝着項の実験結果に基づき提案した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this research is to establishment of design concept for reduction of static friction coefficient of hard carbonaceous coatings under dry condition. Plasma CVD coated DLC showed the increasing of surface roughness Ra with deposition period. The friction coefficient increased with the average inclined angle of asperities. The environmental control friction tester showed that high humid air increased friction of DLC. Fluorine contained DLC showed low friction even if in high humid air because of the reduction of adhesion. We proposed the design concept for reduction of static friction of DLC in the viewpoints of ploughing and adhesion term of friction.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
2011年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2012年度	2,000,000	600,000	2,600,000
総計	13,400,000	4,020,000	17,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：トライボロジー，機械要素，静摩擦，DLC

最近、DLC膜はエンジン等の耐摩耗材料として使用されているが、相手面攻撃性を減少させるために可能な限り表面あらさを減少した鏡面が使用される。その場合、動き出し後の動摩擦の際の摩擦係数は0.05以下と非

常に低いが、動き出し時の静摩擦係数がコーティング無しの場合比べて0.2程度と著しく高くなる。その結果、リニアガイドや軸受等の摺道部のDLC等のカーボン系硬質膜の適応においても、このような高い静摩擦係数は、

軸受やシール面では高起動トルクをもたらす、動き出し時の激しい摩擦の原因となる。

一方、摩擦が小さく、硬質膜であるため耐摩耗性に富む次世代のトライボ被膜として、カーボン系の DLC 膜や窒化炭素膜 (CN_x 膜) が注目されている。1998 年、DLC 膜において、米国のアルゴンヌ国立研究所やフランスのリヨン工科大学において、特有の DLC 膜が超高真空中でも 0.01 以下の超低摩擦係数が得られることを報告している。一方、日本においては、研究代表者は、1998 年 5 月、米国のグループと同時期に、更に高硬度で耐摩耗性が期待される窒化炭素膜 (CN_x 膜) において、わずか 10%at の窒素含有でも 0.007 の超低摩擦が無潤滑条件で得られることを、「コーティングと薄膜の国際会議」において世界で初めて発表した。しかし、このように超低摩擦・耐摩耗が期待される CN_x 膜において実際に摺道面として使用した場合の問題点が判明した。それは静摩擦係数が高いことである。

2. 研究の目的

無潤滑超低摩擦・耐摩耗カーボン系硬質膜として期待される CN_x 膜や DLC 膜において、静摩擦係数減少のための設計指針を確立し、摺道部品への更なる幅広い応用を促進する事を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、超低摩擦・超耐摩耗のカーボン系硬質膜の静摩擦係数の減少の制御指針を確立することを目的とする。このために、以下の2点を明らかにする研究を行う。

(1) 研究分担者の上坂が発明した従来の RF プラズマに比べて約100倍高密度な「表面波励起マイクロ波高密度プラズマ」で、実用可能な高速成膜速度 (100um/h) で DLC, CN_x 膜並びにカーボンオーバーコート平面基板に成膜する。これにより微小突起を有するがその先端が平坦化されたカーボン系硬質膜を創成する。その後、大気中で摩擦試験を行い、静摩擦係数に及ぼす種々の因子の影響を明らかにする。

(2) 静摩擦係数は湿度により影響を及ぼすと考えられるので「雰囲気制御型硬質膜の初期摩擦過程分析装置」を試作し、前項で製作した種々の微小突起構造を有するカーボン系硬質膜のすべり変位-摩擦力曲線を取得し、微小突起の形状、分布の静摩擦特性に及ぼす影響を明らかにする。

4. 研究成果

(1) DLC 膜の静摩擦係数に及ぼす微小突起の影響

カーボン系硬質膜としては DLC 膜を「表面波

励起プラズマと負バイアス電圧を用いた高密度プラズマ発生法 (MVP 法)」によるプラズマ CVD 法で、メタンガス、アルゴンガス及び TMS (トリメチルシラン) ガスを種々の割合で原料ガスとし供給し、種々の断面曲線及び材質の DLC 膜を作製し、DLC 膜の粗さと硬さの評価を行った。その後、SUJ2 金属球及び TPE との大気中で往復摩擦実験を行い、静摩擦係数及び動摩擦係数を明らかにした。具体的に得られた研究成果を以下に示す。

・成膜時間の増加に伴い表面粗さ Ra 及び硬さは増加する (図 1 参照)。また、負バイアス電圧が高いほど 14GPa 程度の硬質な膜が得られる。

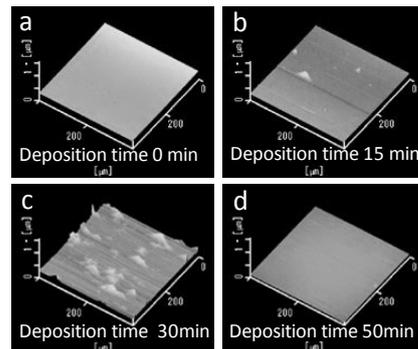


図 1 各成膜時間での膜表面形状, a) 基板表面, b) 成膜時間 15 分, c) 成膜時間 30 分, d) 成膜時間 50 分

・すべてのバイアス値において成膜開始後、膜表面は基板より粗くなり、成膜時間 30 分において粗さは最大となった。その後、成膜時間を延長すると基板の粗さまで低下した。また、大きなバイアス値において粗さの増大分は大きかった。(図 2 参照)。

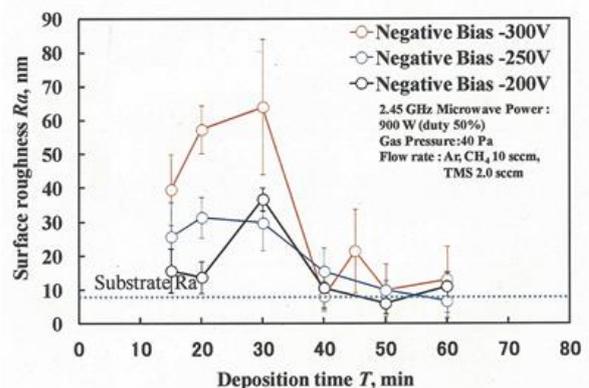


図 2 表面粗さ Ra に及ぼす成膜時間の影響

・DLC の断面曲線から微小突起の傾斜角を算出し、その平均値と摩擦係数の関係を明らかにした。その結果、平均傾斜角が 0.3 度以下の小さい範囲では摩擦係数は平均傾斜角に比例するが、それ以上では影響しない。

・さらに、粗さの増大を抑制した DLC 膜によってガスケットとシリンダー内面との摩擦を適切に低下させられるかどうかを検討するために、成膜時間によって粗さが異なる DLC 膜を成膜した SUS304 ディスクとガスケット材料を模擬した樹脂材料との摩擦試験を行った。樹脂材料として POM (ポリアセタール) 製の円筒(直径 5.0 mm, 長さ 5.0 mm)を用い、その側面を荷重 1N でディスクの半径 3.5 から 7.5 mm にわたって押し付けながら、回転速度 200 rpm でディスクを回転させた。図 3 に示すように実験により得られた摩擦係数(○)の変化曲線は、DLC 膜の粗さ曲線から算定される平均傾斜角 θ から求めた摩擦係数の掘り起こし項(Δ)の変化曲線をオフセットしたような形となり、両者の差分(\square)はほぼ一定であった。差分はしゅう動材料の材料特性のみによって決まる摩擦の凝着成分であると考えられ、このことより摩擦試験の結果が摩擦の掘り起こし成分と凝着成分によって説明されることがわかった。

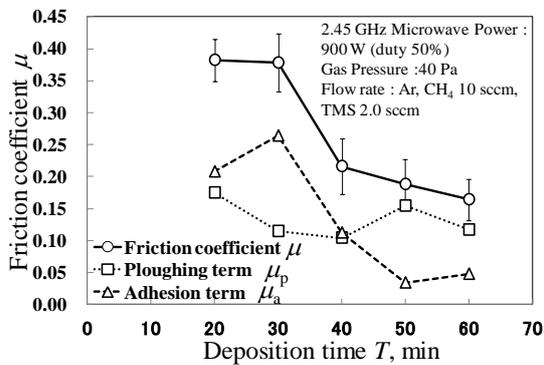


図3 成膜時間での摩擦係数実験値 μ と平均傾斜角 θ から推定した摩擦係数の掘り起こし成分 μ_p と凝着成分 μ_a

・成膜時間及びバイアス電圧を変化させただけでは、静摩擦係数を減少させることは困難である。そのため、静摩擦力を表面粗さの負荷曲線の極表面の材質、雰囲気を変化させ今後検討することが必要である。

(2) DLC 膜の静摩擦係数に及ぼす凝着項の影響

カーボン系硬質膜としては、摩擦の凝着項を減少させるために「電子ビーム蒸着法」においてターゲットにカーボンだけでなく PTFE も用いて成膜を行い、フッ素含有 DLC の作製を試みた。同じ平面試験片同士の摩擦において、雰囲気湿度を 25~95%RH 変化させ、摩擦動き出し時の最大接線力から静摩擦係数を算出し評価した。

具体的に得られた研究成果を以下に示す。

・ピエゾアクチュエータによる動き出し時の摩擦が評価可能な「雰囲気制御型硬質膜の初

期摩擦過程分析装置」を試作した(図 4 参照)

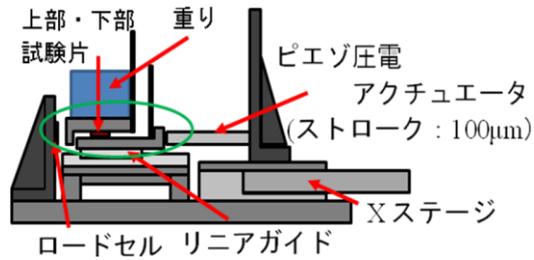


図4 試作した「雰囲気制御型硬質膜の初期摩擦過程分析装置」

・14at%フッ素を含有した DLC 膜は撥水性を示し、水滴の接触角は 118° である。一方、フッ素を含有しない DLC 膜においては水滴の接触角は 66° である。

・フッ素非含有 DLC 同士の摩擦において、湿度が増加しても、静摩擦係数及び動摩擦係数はほぼ一定である。一方、撥水性のフッ素含有 DLC とフッ素非含有 DLC の摩擦において、湿度の増加に伴い摩擦係数は 10~50% 程度減少する(図 5 参照)。

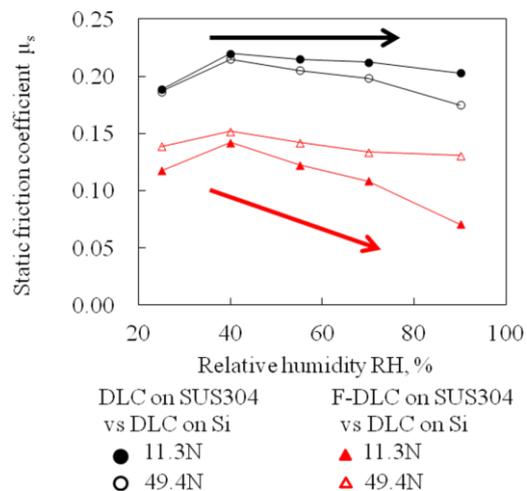


図5 撥水性のフッ素含有 DLC とフッ素非含有 DLC の摩擦に及ぼす湿度の影響

・荷重を変化させた実験を行ったところ、撥水性のフッ素含有 DLC とフッ素非含有 DLC の静摩擦係数において、荷重が小さい場合、摩擦係数は減少し、湿度が 90% の場合に静摩擦係数が 0.12 から 0.07 に減少する。この原因として、高湿度下における水メニスカスの形成によるラプラス圧による斥力による直接接触部で荷重が減少するメカニズムを提案

した (図 6 参照)。

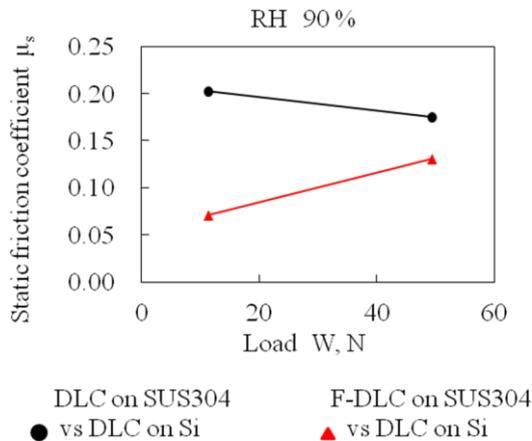


図 6 相対湿度 90%における撥水性のフッ素含有 DLC とフッ素非含有 DLC の摩擦に及ぼす荷重の影響

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 4 件)

① Akinobur Hanihara, Hiroyuki Kousaka, Takayuki Tokoroyama, Noritsugu Umehara, Development of internal DLC coating method without surface roughness increase for high-performance suspension, ICPLANTS2012, (2012-3-9), Nagoya, Japan

② Akinobur Hanihara, Hiroyuki Kousaka, Takayuki Tokoroyama, Noritsugu Umehara, Development of internal DLC coating method without surface roughness increase for high-performance suspension, ISPLASMA2012, (2012-3-4), Nagoya, Japan

③ Akinobur Hanihara, Hiroyuki Kousaka, Takayuki Tokoroyama, Noritsugu Umehara, Effect of film property on static and

Kinetic friction coefficients of Si-containing diamond-like carbon, ICMDT2011, (2011-5-19), Gamagori, Japan

④ Akinobur Hanihara, Hiroyuki Kousaka, Takayuki Tokoroyama, Noritsugu Umehara, Development of high performance suspension deposited diamond-like carbon on the inner wall by surface wave-excited plasma, ISPLASMA 2011, (2011-3-6), Nagoya, Japan

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅原 徳次 (UMEHARA NORITSUGU)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 70203586

(2) 研究分担者

上坂 裕之 (KOUSAKA HIROYUKI)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 90362318

野老山 貴行 (TOKOROYAMA TAKAYUKI)
名古屋大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 20432247

宇佐美 初彦 (USAMI HATSUHIKO)
名城大学・理工学部・教授
研究者番号: 80278324

(3) 連携研究者なし