

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成28年度研究進捗評価用〕

平成25年度採択分
平成28年3月17日現在

摩擦誘導超低摩擦ナノ構造層によるスマートトライボ
システムの開発

Development of Smart Tribosystem with Friction
Induced Transformed Thin Layers

課題番号：25220902

梅原 徳次 (UMEHARA NORITSUGU)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授



研究の概要

カーボン系硬質膜による超低摩擦発現を支配する摩擦誘導ナノ構造層の安定実現のために、「カーボン系硬質膜の超低摩擦発現ナノ構造変化層のその場評価法」及び「超低摩擦摩擦面の表面エネルギーのESEM内その場評価法」を開発する。ナノ構造層が安定形成するカーボン系硬質膜の成膜法も提案・実証し、摩擦誘起超低摩擦スマート表面システムの開発指針を示す。

研究分野：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、カーボン材料、超低摩擦、構造変化

1. 研究開始当初の背景

油潤滑が困難な過酷な摩擦条件下の耐摩耗・超低摩擦の摺道材としてカーボン系硬質膜の応用が進められている。

摩擦係数が0.01以下となる超低摩擦実現のためには、**図1**に示す摩擦誘導超低摩擦ナノ構造層が支配因子である事が判明しており、超低摩擦の安定実現のためには、ナノ構造層の安定実現が必要である。しかし、従来そのような手法は無かった。2012年、研究代表者は反射分光分析装置で光学特性からナノ構造変化層の厚さや構造をモニタリングする手法を開発した。

2. 研究の目的

カーボン系硬質膜の超低摩擦を発現するナノ構造層の安定実現のために、光学特性から摩擦時にその場モニタリングする「超低摩擦発現ナノ構造変化層の摩擦時その場計測装置」と、表面エネルギーを摩擦前後にモニタリングする「超低摩擦摩擦面の表面エネルギーのESEM内その場評価装置」を開発し、その結果より、カーボン系硬質膜による自己潤滑スマートトライボシステムの材料と摩擦条件の設計指針を確立する。

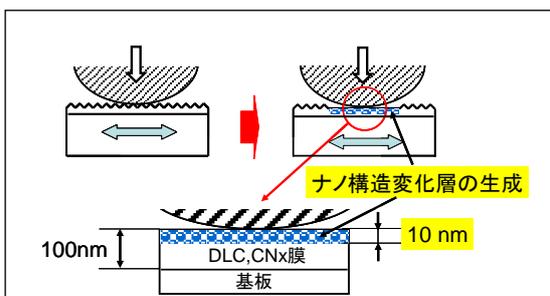


図1 カーボン系硬質膜の超低摩擦発現ナノ構造変化層

その結果より、カーボン系硬質膜による自己潤滑スマートトライボシステムの材料と摩擦条件の設計指針を確立する。

3. 研究の方法

- (1) 「超低摩擦発現ナノ構造変化層の摩擦時その場計測装置」の試作と実証
- (2) 「超低摩擦摩擦面の表面エネルギーのESEM内その場評価装置」の試作と実証
- (3) 超低摩擦発現ナノ構造変化層を安定維持するカーボン系硬質膜の実用的設計指針の提案と実証

4. これまでの成果

(1) 「超低摩擦発現ナノ構造変化層の摩擦時その場計測装置」の試作と実証

ピンオンディスク型摩擦装置（試作装置）と反射分光分析装置を組み合わせた「超低摩擦発現ナノ構造変化層の摩擦時その場計測装置」を**図2**に示すように試作し、乾燥窒素ガス吹き付け下で、摩擦係数が摩擦繰り返し

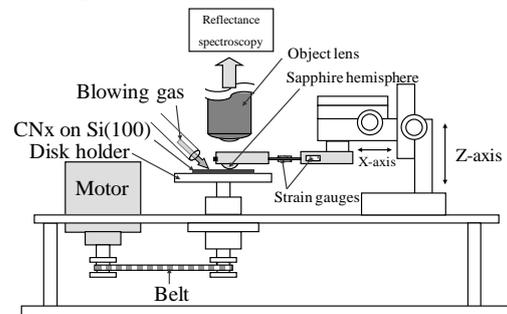


図2 試作した超低摩擦発現ナノ構造変化層の摩擦時その場計測装置[2]

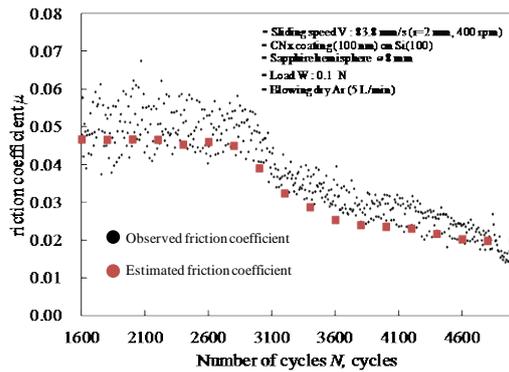


図3 構造変化層のその場評価装置による摩擦係数の実測値と摩擦モデルと構造変化層のパラメータから得た摩擦係数の推定値の比較[2]

数と共に減少し0.01以下になる過程におけるCNx膜の摩擦面のナノ構造変化層の厚さ t 、構造変化層の硬さ H 及び合成表面あらさの標準偏差 σ^* を摩擦時その場計測した。得られたパラメータを用いた摩擦係数 μ のモデル式より摩擦係数 μ を推定した。図3のそれらの比較から、超低摩擦発現の支配因子と摩擦係数のモデル式が妥当であることが示された。

(2)「超低摩擦摩擦面の表面エネルギーのESEM内その場評価装置」の試作と実証

環境制御型走査電子顕微鏡 ESEM の試料チャンパー内に小型の往復型摩擦装置を組み込んだ図4に示す「超低摩擦摩擦面の表面エネルギーの ESEM 内その場評価装置」を試作し、CNx 膜に対して、乾燥窒素中での往復摩擦繰り返し数に伴う表面エネルギーのその場評価の可能性を検討した。その結果、繰り返し摩擦に伴う表面エネルギーの分散力成分と水素結合成分の変化を検出可能である事が明らかになった。

(3) 超低摩擦発現ナノ構造変化層を安定維持するカーボン系硬質膜の実用的設計指針の提案と実証

ナノ構造安定実現のカーボン系硬質膜を探索するため、新たにフィルタードアーク成膜法(FCVA 法)に窒素イオンビームを同時照射する、イオンビームミキシング・フィルタードアーク成膜法を 図5 のように開発し、

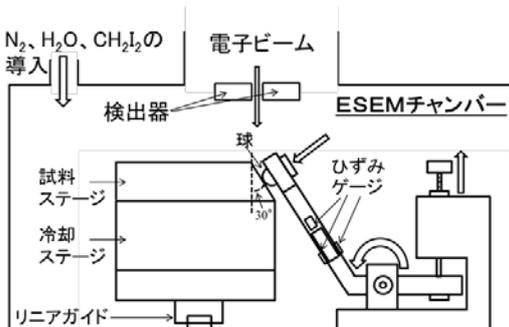


図4 試作した超低摩擦摩擦面の表面エネルギーのESEM内その場評価装置

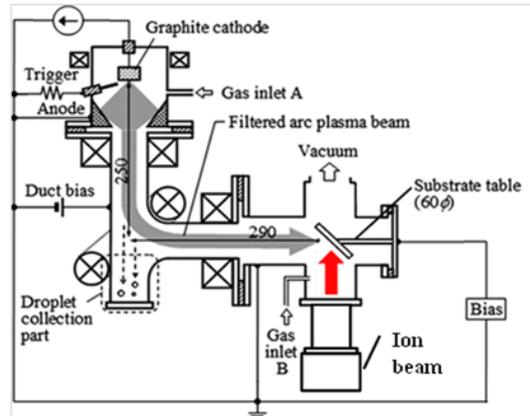


図5 試作したイオンビームミキシング・フィルタードアーク成膜装置

35GPa の硬さの硬質な窒化炭素膜の成膜に成功した。

5. 今後の計画

当初の計画通り、窒素、水素及びシリコンの含有率の異なる種々のカーボン系硬質膜において、「超低摩擦発現ナノ構造変化層の摩擦時その場計測装置」と「超低摩擦摩擦面の表面エネルギーのESEM内その場評価装置」により、超低摩擦発現の安定実現のための支配パラメータをそれぞれの膜毎で解明する予定である。その後、当初の計画通り、多層膜を用いた超低摩擦発現ナノ構造変化層を安定維持するカーボン系硬質膜の実用的設計指針の提案と実証を行い、カーボン系硬質膜による自己潤滑スマートトライボシステムの材料と摩擦条件の設計指針の確立を行う。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- [1] The Clarification of Low Friction Mechanism for Hydrogenated Amorphous Carbon by In-situ Observation of Frictional Area, H. Nishimura, N. Umehara, H. Kousaka, X. Deng, Tribology Online、査読有り、掲載決定
- [2] Clarification of relationship between friction coefficient and transformed layer of CNx coating by in-situ spectroscopic analysis, H. Nishimura, N. Umehara, H. Kousaka, T.Tokoroyama, Tribology International, 査読有り, Vo 1.93, pp.660-665, (2016)
- [3] プラズマCVD 法により作製した Si-CN_xH_y 膜の油中摩擦特性, 北爪一孝, 上坂裕之, 野老山貴行, 梅原徳次, 不破良雄, 眞鍋和幹, 日本機械学会論文集, 査読有り, 80巻 (2014) No.14-00346 12ページ ホームページ等
<http://huga.ume.mech.nagoya-u.ac.jp/ume@mech.nagoya-u.ac.jp>